



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# DOKONČOVÁNÍ PŘESNÝCH PLOCH FRÉZOVÁNÍM

FINISHING MILLING OF ACCURATE SURFACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Ondřej ŠIMONEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Karel OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Ondřej Šimonek

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Dokončování přesných ploch frézováním**

v anglickém jazyce:

### **Finishing milling of accurate surface**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor možností technologie frézování z hlediska náhrady broušení součástí příčnick a dokončení ploch frézováním s cílem dosažení jakosti povrchu  $R_a < 0,8 \text{ um}$  v podmínkách firmy TOS Kuřim - OS, a.s.

Cíle diplomové práce:

Úvod.

Rozbor technologičnosti konstrukce součástky příčnick.

Rozbor možností dostupné technologie frézování.

Návrh technologického postupu pro vzorový díl příčnick.

Návrh progresivního nástrojového vybavení.

Experimentální ověření navrženého postupu.

Technicko-ekonomické zhodnocení.

Závěr.

## ABSTRAKT

Cílem této práce je najít vhodný řezný nástroj a vhodné řezné podmínky pro výrobu ploch hydrostatického vedení příčnicku s jakostí struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ . Technologie se zabývá dokončováním ploch hydrostatického vedení frézováním s jakostí struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ . Metodou výroby je třískové obrábění s pomocí CNC stroje. Pro dosažení dané jakosti povrchu je využito nástrojů s VBD, které jsou vybrány a hodnoceny dle experimentálních zkoušek nástrojů od šesti různých dodavatelů. Technologický postup řeší výrobu ploch hydrostatického vedení od prvního upnutí odlitku až po finální zhotovení ploch.

## Klíčová slova

Příčnick, frézování, dokončování, technologie, nástroj, litina.

## ABSTRACT

The aim of this work is to find a suitable cutting tool and suitable cutting conditions for the production of hydrostatic surfaces of a crossmember with the quality of the surface structure of  $Ra \leq 0.8 \text{ mm}$ . The technology described in the thesis deals with finishing hydrostatic surfaces by milling, with the quality of the surface structure of  $Ra \leq 0.8\text{mm}$ . As the production method cutting operations using CNC machines is used. To assure the quality of the surface insert tools are used, which are selected and evaluated based on experimental testing from six different suppliers. The technological process of production solves the problem of the hydrostatic surface production from the first gripping all the way to the final manufacture of the surfaces.

## Key words

Crossmember, milling, finishing, technology, tool, cast iron.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠIMONEK, Ondřej. *Dokončování přesných ploch frézováním*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 64 s., 13 příloh. Vedoucí práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Dokončování přesných ploch frézováním** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Ondřej Šimonek

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D., Ing. Tomáši Kočkovi a firmě TOS Kuřim – OS, a.s. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
1 ROZBOR TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE SOUČÁSTI PŘÍČNÍK.....	10
1.1 Základní informace .....	10
1.2 Materiál a jeho vlastnosti .....	10
1.3 Dodržení tvaru, geometrie, výrobních úchylek rozměrů a jakosti povrchu dle funkčnosti součástí.....	11
1.4 Druhy použitých operací.....	12
2 ROZBOR MOŽNOSTÍ DOSTUPNÉ TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ.....	13
2.1 Základní charakteristika frézování.....	13
2.2 Technologická charakteristika frézování .....	13
2.2.1 Válcové nesousledné frézování .....	14
2.2.2 Válcové sousledné frézování .....	15
2.2.3 Čelní frézování.....	16
2.3 Průřez třísky .....	17
2.4 Řezné podmínky .....	18
2.4.1 Řezné síly.....	18
2.4.2 Další řezné podmínky .....	20
2.5 Technologicko-ekonomické veličiny frézování.....	21
2.6 Faktory ovlivňující jakost frézované plochy .....	22
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY .....	24
3.1 Návrh operací.....	24
3.2 Návrh strojů .....	24
3.3 Návrh nástrojů.....	27
3.4 Návrh technologického postupu .....	31
3.5 Operační návodky .....	35
3.5.1 Operační návodka výrobní operace 3/3 .....	35
3.5.2 Operační návodka výrobní operace 6/6 .....	35
3.5.3 Operační návodka výrobní operace 7/7 .....	35
3.5.4 Operační návodka výrobní operace 9/9 .....	35
3.5.5 Operační návodka výrobní operace 11/11 .....	35
3.5.6 Výpočet výrobního času .....	35

4	EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY NÁSTROJOVÉHO VYBAVENÍ.....	38
4.1	Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy ISCAR ČR, s.r.o.....	38
4.2	Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy KENNAMETAL CZECH, s.r.o. .....	40
4.3	Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy MAPAL CZ, s.r.o.....	41
4.4	Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy SECO TOOLS CZ, s.r.o.....	43
4.5	Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy TGS spol., s.r.o.....	44
4.6	Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy WALTER CZ, s.r.o. ....	45
4.7	Finální zhodnocení zkoušených nástrojů.....	46
5	FINÁLNÍ ZHOTOVENÍ PŘESNÝCH PLOCH .....	48
5.1	Ustavení obrobku .....	48
5.2	Zhotovení přesných ploch.....	49
5.3	Měření obrobených ploch .....	50
5.3.1	Měření jakosti struktury povrchu přesných ploch .....	50
5.3.2	Měření rovinnosti vodících ploch .....	53
5.3.3	Měření rovnoběžnosti vodících ploch.....	55
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	56
6.1	Náklady na nástroje .....	56
6.2	Porovnání nákladů na výrobu frézováním s náklady v kooperaci broušením .....	56
	DISKUZE .....	58
	ZÁVĚR .....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	60
	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

## ÚVOD

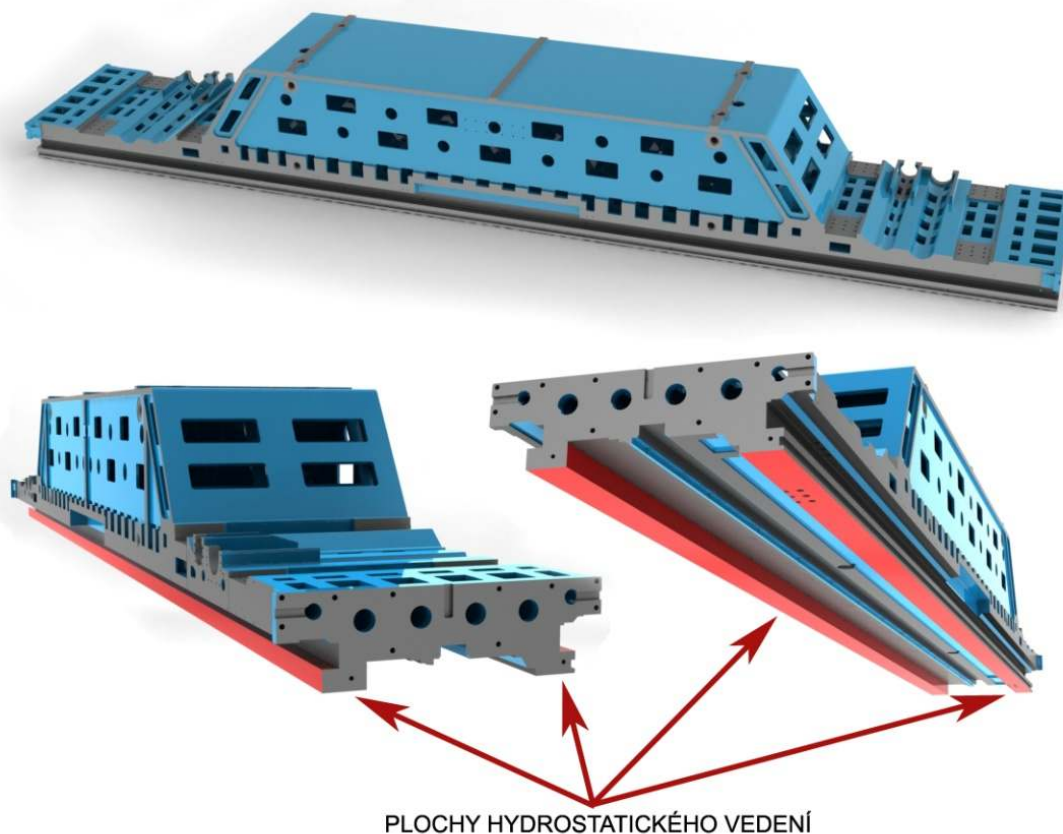
Cílem a úkolem tématu „Dokončování přesných ploch frézováním“ bylo navržení a řešení technologie výroby přesných ploch hydrostatického vedení součásti příčnick v podmínkách firmy TOS Kuřim - OS, a.s.

Hydrostatické vedení se používá pro velmi přesné obráběcí stroje s velmi nízkým třením především díky využití viskózního tření. A proto je nutné, aby vodící plochy hydrostatického vedení dosahovaly jakosti struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu m$ .

Pro dosažení dané jakosti struktury povrchu vodících ploch je nutné zvolit vhodný nástroj a vhodné řezné podmínky. Tohoto je dosaženo pomocí experimentálních zkoušek nástrojů různých dodavatelů a jejich hodnocení z hlediska efektivity výroby.

Firma TOS KUŘIM - OS, a.s. dříve řešila výrobu přesných ploch hydrostatického vedení loží a příčnicků strojů v kooperaci broušením s firmami v Plzni a v Německu. Výroba přesných hydrostatických ploch součásti příčnick délky 10 m je cenově negativně ovlivněna dopravou a samotnou kooperací a proto se firma rozhodla přesné hydrostatické plochy dokončovat frézováním.

Řešená součást příčnick je tuhý litinový odlitek (viz. obr. 1), sloužící pro pohyb ve svislém směru frézky rovinné FRUF 450/11 s pohyblivým, přestavným, portálovým vedením a je vyráběn pro indickou firmu Larsen Turbo. Na čelní straně příčnicku jsou vytvořeny vodící plochy hydrostatického vedení, po kterých se pohybují příčné saně s vřeteníkem s nasazenou výměnnou hlavou.



Obr. 1 Znáznornění příčnicku.



# 1 ROZBOR TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE SOUČÁSTI PŘÍČNÍK

Přestavný příčník (dále jen příčník) je nutno před svou vlastní výrobou charakterizovat dle technologičnosti konstrukce. Technologičnost konstrukce příčníku je charakterizována v následujících podkapitolách.

## 1.1 Základní informace

Příčník je tuhý litinový odlitek, sloužící pro pohyb ve svislém směru frézky rovinné FRUF 450/11 s pohyblivým, přestavným, portálovým vedením.

Příčník je vyráběn v počtu 1 ks pro indickou firmu Larsen Tourbo.

Na čelní straně příčníku jsou vytvořeny vodící plochy hydrostatického vedení pro pohyb příčných saní s vřeteníkem s nasazenou výměnnou hlavou. Je tedy nutné, aby tyto vodící plochy hydrostatického vedení dosahovaly jakosti struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ .

## 1.2 Materiál a jeho vlastnosti

Příčník bude vyroben z materiálu 42 2425 (dle evropské normy: EN - GJL - 250), tj. šedá litina nelegovaná s lupínkovým grafitem. Materiál je zvolen dle požadované funkce a životnosti.

Doporučené použití materiálu: [6]

- velmi dobrá kombinace pevnosti, tvrdosti a struktury,
- odlitky s tloušťkou stěn od 15 do 70 mm,
- pro teploty od -60 do 500 °C,
- pro vyšší tlaky a vyšší namáhání,
- velmi dobrá obrobitelnost,
- obtížná svařitelnost,
- dobře tlumí chvění,
- válce motorů,
- součásti turbín,
- stojany a lože obráběcích strojů,
- podřadnější ozubená kola a řemenice,
- formy a skříně převodů.

Tepelné zpracování:

Dodává se v litém stavu bez tepelného zpracování.

Mechanické vlastnosti materiálu: [6]

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti materiálu (ČSN 42 2425).

$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$\sigma_p$ [MPa]	$\sigma_o$ [MPa]	E [MPa]	$\tau_s$ [MPa]	tvrdost HB	tažnost A [%]
165 ÷ 228	250 ÷ 350	840	340	103 ÷ 118	290	max. 240	0,8 ÷ 0,3

Tab. 1.2 Tvrdost HB materiálu (ČSN 42 2425).

Rozměr [mm]	Min. tvrdost HB	Max. tvrdost HB
<b>do 38</b>	180	235
<b>45 ÷ 75</b>	180	230
<b>80 ÷ 150</b>	170	220
<b>nad 155</b>	160	220

Fyzikální vlastnosti materiálu: [6]

Tab. 1.3 Fyzikální vlastnosti materiálu (ČSN 42 2425).

Měrná hmotnost $\varsigma$ [g·cm <sup>-3</sup> ]	Měrné teplo c [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Měrný odpor $\rho$ [Ω·mm <sup>2</sup> ·m <sup>-1</sup> ]
7,2	250 ÷ 350	840

Chemické složení materiálu: [6]

Tab. 1.4 Chemické složení materiálu (ČSN 42 2425).

Prvek	C	Si	Mn	P	S
<b>Obsah prvků [%]</b>	2,9 ÷ 3,65	1,8 ÷ 2,9	0,4 ÷ 0,9	max. 0,1	max. 0,3

### 1.3 Dodržení tvaru, geometrie, výrobních úchylek rozměrů a jakosti povrchu dle funkčnosti součástí

Rozměry obrobku jsou zakótovány úplně a jednoznačně. Obráběné plochy hydrostatického vedení jsou plochy rovinné o délce 9 900 mm a maximální šířce 200 mm. Polotovarem je odlitek, který je konstruován dle ČSN 01 4470.3.

Obráběné plochy hydrostatického vedení jsou tyto:

- 2 kolineární rovinné plochy délky 9 900 mm a šířky 200 mm,
- 2 kolineární rovinné plochy délky 9 900 mm a šířky 75 mm a 80 mm,
- 2 rovnoběžné rovinné plochy délky 9 900 mm a šířky 100 mm a 120 mm.

Tolerance polohy ploch hydrostatického vedení:

- všechny vzájemně rovnoběžné rovinné plochy jsou v toleranci rovnoběžnosti 0,01 mm,
- všechny vzájemně kolmé rovinné plochy jsou v toleranci kolmosti 0,01 mm.

Výrobní úchytky rovinných ploch hydrostatického vedení:

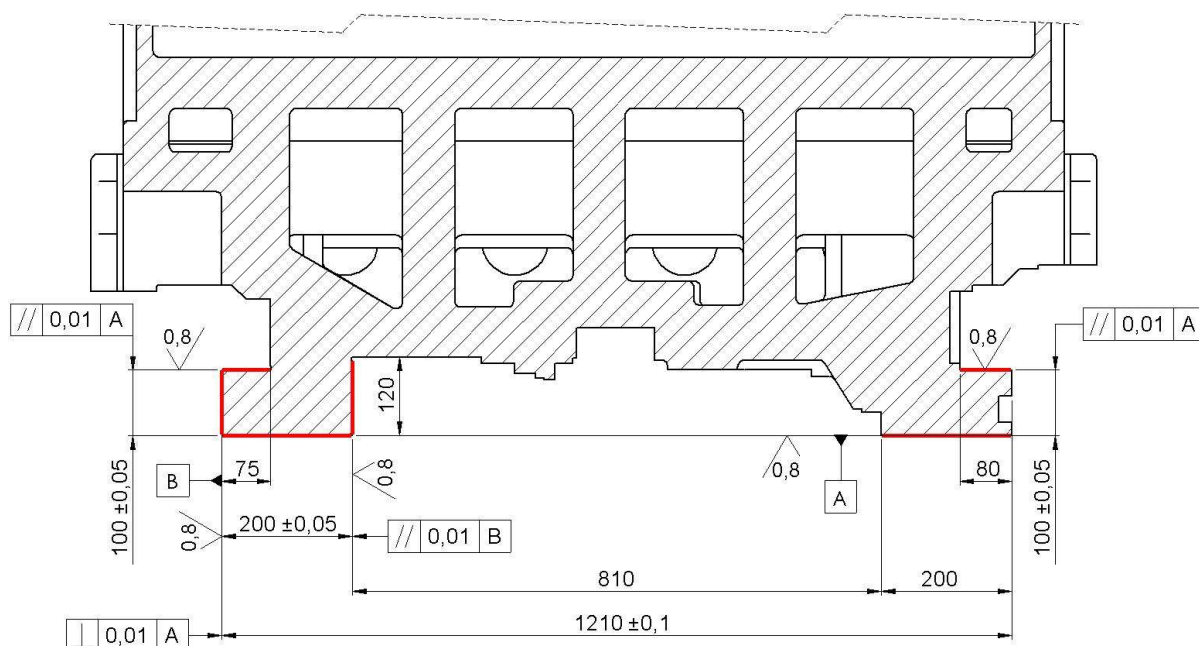
- 2 vzájemné vzdálenosti rovnoběžných ploch 100 mm s tolerancí  $\pm 0,05$  mm,
- vzájemná vzdálenost rovnoběžných ploch 200 mm s tolerancí  $\pm 0,05$  mm.

Jakost povrchu hydrostatického vedení:

- Všechny obráběné plochy hydrostatického vedení odpovídají střední aritmetické úchytky profilu (dále jen Ra) Ra = 0,8.

Příčník svými rozměry, výrobními úchytkami a jakostí povrchu odpovídá její správné funkčnosti.

Všechny tyto zmíněné údaje jsou znázorněny v obr. 2.



Obr. 2 Znázornění tvaru, geometrie, výrobních úchylek rozměrů, tolerancí a jakosti povrchu hydrostatického vedení příčnicku.

#### 1.4 Druhy použitých operací

Ke kompletnímu zhotovení dílu příčnicku je zapotřebí operací:

- frézování rovinných ploch,
- vrtání,
- závitování,
- montáž a zámečnická práce (vyražení popisu).

V problematice daného tématu je převážně řešena operace jemného frézování přesných ploch hydrostatického vedení, při které je nutno dosáhnout maximální jakosti povrchu Ra 0,8 (viz. obr. 2).

## 2 ROZBOR MOŽNOSTÍ DOSTUPNÉ TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

### 2.1 Základní charakteristika frézování

Frézování je výrobní metoda obrábění, při které je odebírán materiál obrobku zuby vícebřitého nástroje, který se otáčí kolem své osy. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. V současnosti je díky moderním obráběcím strojům možné realizovat posuvné pohyby plynule měnitelné ve všech směrech. [1, 2, 3]

Frézováním se obrábí rovné plochy, drážky a tvarové plochy. Fréza má obvykle větší počet zubů a každý zub odebírá určité množství materiálu. Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnného průřezu po cykloidní dráze. [1, 2, 3]

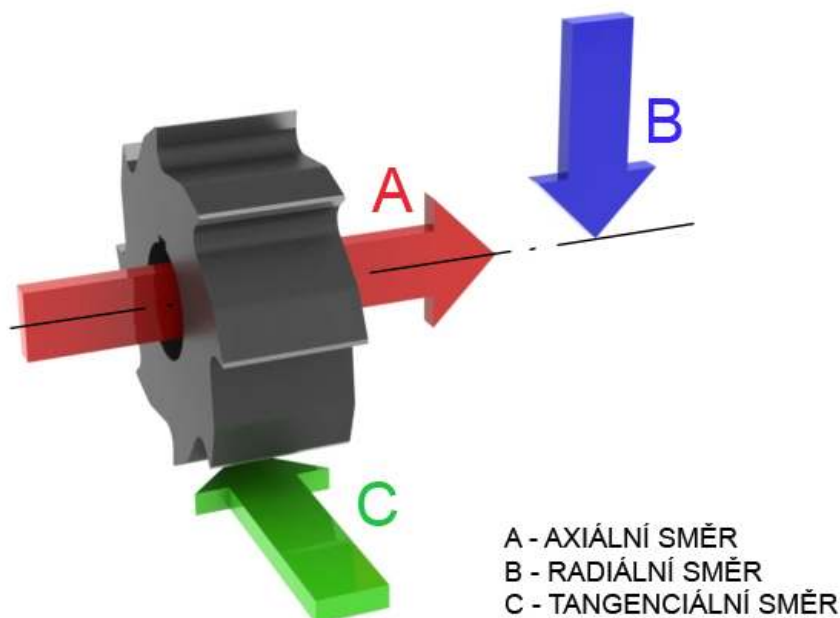
### 2.2 Technologická charakteristika frézování

Dle technologie v závislosti na záběru frézy do materiálu je nutné rozlišovat:

- frézování válcové (frézování obvodem nástroje),
- frézování čelní (frézování čelem nástroje),
- frézování okružní a planetové.

S přihlédnutím k různým postupům frézování je nutné rozlišovat mezi různými směry posuvů ve vztahu k ose otáčení nástroje:

- axiální směr (posuv ve směru osy nástroje),
- radiální směr (posuv ve směru kolmém k ose nástroje),
- tangenciální směr (posuv ve směru řezné rychlosti, kolmo k ose otáčení frézy).



Obr. 3 Směry pohybů při frézování.

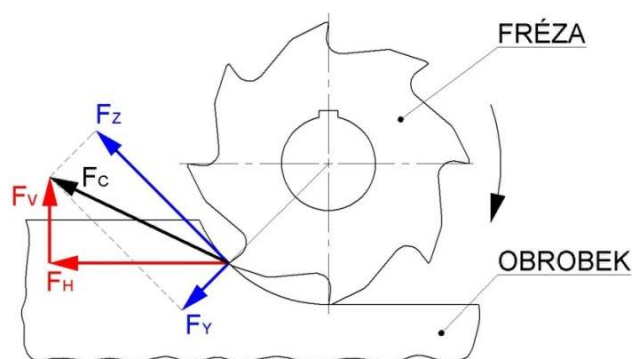
Z důvodu zajišťování úspěšného průběhu operace frézováním je nutné poukázat na to, že velikost složek řezných sil, jejich směr a působíště je značně ovlivňována značnými faktory, k nimž patří způsob frézování, poloha a průměr nástroje, materiál obrobku, geometrie

břitu a velikost opotřebení nástroje. Výsledná řezná síla  $F_C$  je prostorově orientována a lze ji rozložit do tří navzájem kolmých směrů na složky:

- axiální síla  $F_x$  (síla působící ve směru nástroje),
- radiální síla  $F_y$  (síla působící ve směru kolmém k ose nástroje a řezné rychlosti),
- tangenciální síla  $F_z$  (obvodová síla působící ve směru řezné rychlosti, kolmo k ose otáčení frézy, vytvářející krouticí moment a převážně určující výkon).

Z hlediska upínání obrobků a namáhání posuvových mechanismů lze výslednici řezných sil rozložit na složky:

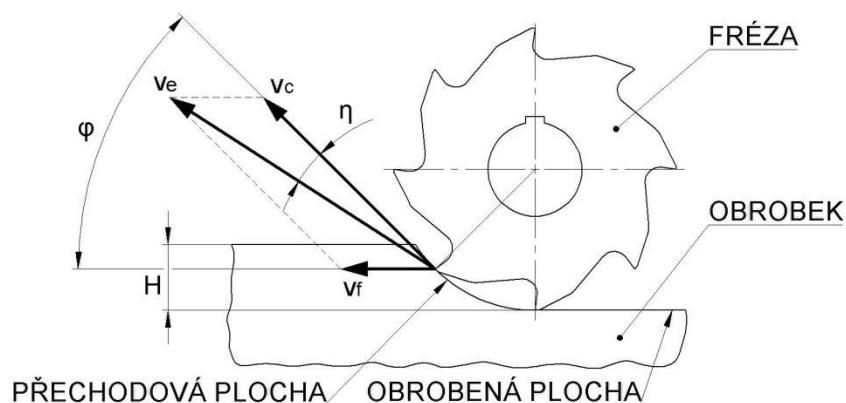
- axiální síla  $F_X$  (osová síla),
- horizontální síla  $F_H$  (posuvová síla),
- vertikální síla  $F_V$  (přítlačná síla).



Obr. 4 Působení sil při frézování.

### 2.2.1 Válcové nesousledné frézování [1, 2, 3]

Válcového frézování je užíváno převážně válcovými a tvarovými frézami, které mají zuby vytvořeny pouze po obvodu nástroje. Smysl rotace frézy je proti směru posuvu obrobku. Vnikáním nástroje vzniká obrobená plocha, kdy tloušťka třísky se plynule mění z nulové tloušťky na tloušťku maximální. Při nesousledném frézování vznikají silové účinky a deformace, které vlivem tření a vysokých teplot zvyšují opotřebení břitu nástroje. Řezná síla při protisměrném frézování působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od upínacího stolu.



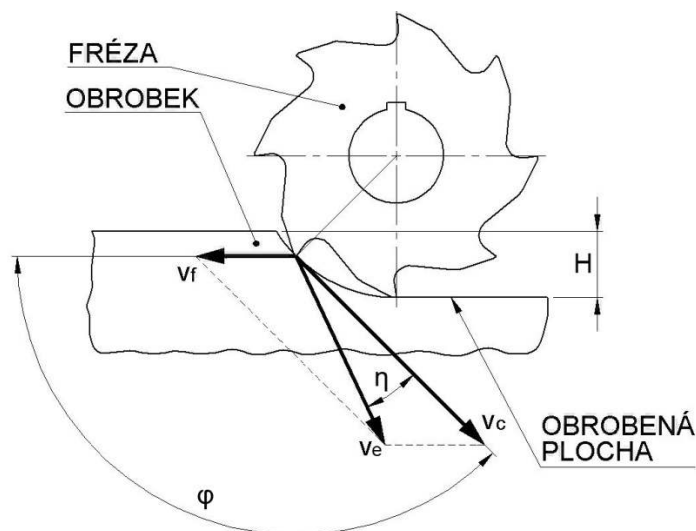
Obr. 5 Kinematika nesousledného frézování. [3]

Charakteristické rysy nesousledného válcového frézování:

- smysl rotace nástroje je proti směru posuvu obrobku,
- tloušťka třísky, se mění od nulové tloušťky do maximální tloušťky,
- řezná síla působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu,
- menší opotřebení posuvových šroubů a matic,
- lepší odvod třísek,
- vyšší opotřebení nástroje a vyšší potřebný příkon stroje,
- horší jakost a odolnost proti korozi frézované plochy,
- nutnost použití vyšších upínacích sil a pevnějších upínacích přípravků.

### 2.2.2 Válcové sousledné frézování [1, 2, 3]

Smysl rotace frézy je ve směru posuvu obrobku. Při vnikání zubu frézy do obrobku nástroj odebírá maximální tloušťku třísky, která klesá až na nulu. Obrobená plocha vzniká, když zub vychází ze záběru. Řezná síla působí směrem do obrobku. Je nutné při sousměrném frézování vymezení vůle a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky.



Obr. 6 Kinematika sousledného frézování. [3]

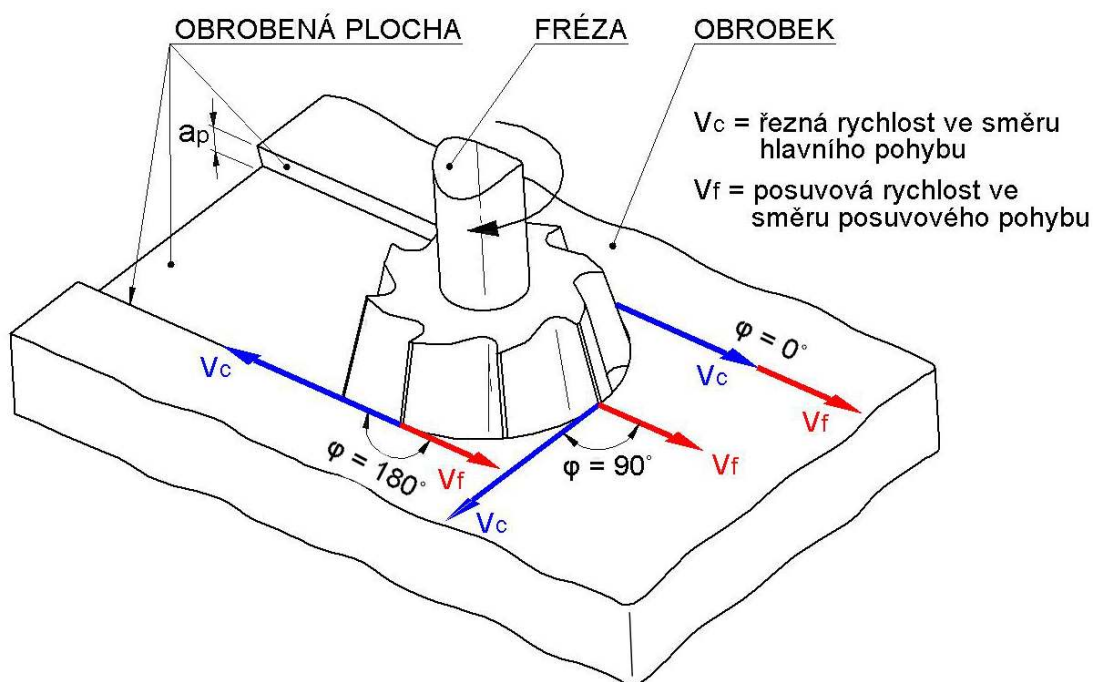
Charakteristické rysy sousledného válcového frézování:

- smysl rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku,
- při vnikání zubu frézy do obrobku nástroj odebírá maximální tloušťku třísky,
- řezná síla působí směrem do obrobku,
- obrobená plocha vzniká, když zub vychází ze záběru,
- vyšší náchylnost na vtahování třísek zpět do řezu a náchylnost k ulomení břitu,
- lepší jakost obrobeného povrchu a vyšší odolnost povrchů proti korozi,
- menší nároky na upínací mechanismy oproti nesouslednému frézování,

- nižší řezný příkon,
- nutnost vymezení vůle a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky,
- nižší sklon ke tvorbě nárůstků.

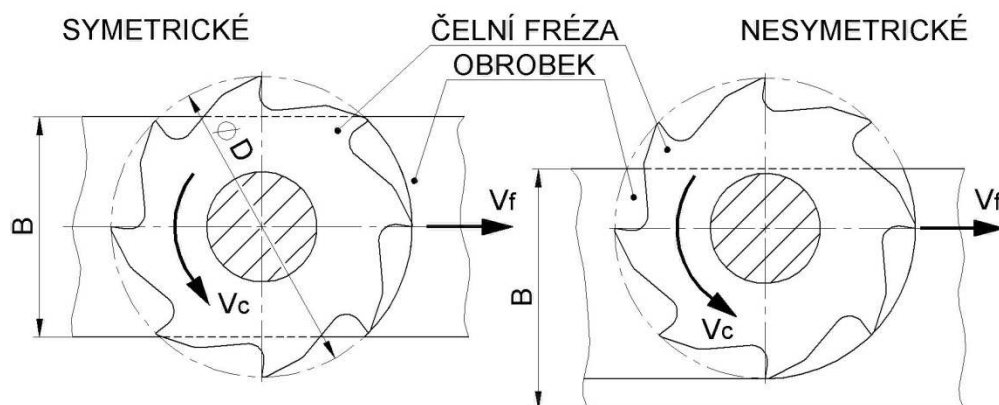
### 2.2.3 Čelní frézování [1, 2, 3]

Čelního frézování je užíváno při práci čelními frézami, které mají zuby vytvořeny po obvodu i čele nástroje. Fréza rotuje v rovině rovnoběžné se směrem radiálního posuvu obrobku. Obrobená plocha je kolmá na osu frézy. Šířka záběru ostří je nastavována ve směru osy čelní frézy.



Obr. 7 Kinematika pohybů čelní úhlové frézy a obrobku ve třech bodech nástroje. [3]

Dle poměru šířky frézované plochy  $B$  a průměru frézy  $\varnothing D$  také s ohledem na polohu osy frézy k frézované ploše je čelní frézování děleno na frézování symetrické a nesymetrické.



Obr. 8 Čelní frézování symetrické a nesymetrické. [3]



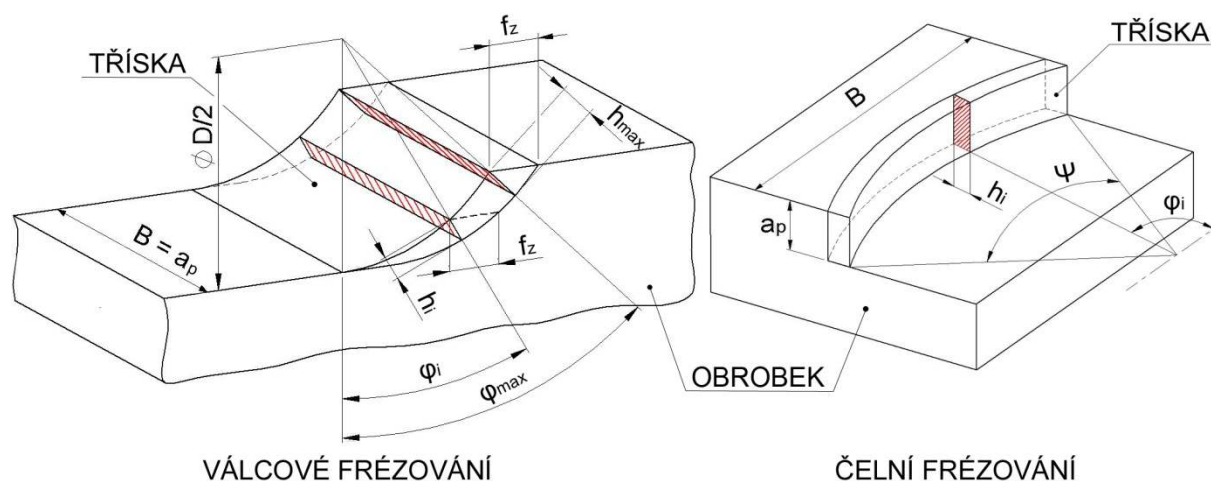
### 2.3 Průřez třísky [1, 2, 3]

Tloušťka třísky je při frézování proměnná a stanovuje se velmi obtížně. Její hodnotu je možné zjistit pomocí kruhové výseče  $\varphi$  v místě styku zubu frézy a obrobku.

Při sousledném válcovém frézování nástroj odebírá maximální tloušťku třísky, která klesá až na nulu. Naopak při nesousledném válcovém frézování se tloušťka třísky mění plynule od nulové hodnoty po hodnotu maximální.

Pro výpočet průřezu třísky je nutné uvažovat s těmito fakty:

- tloušťka třísky není konstantní (mění se),
- ve většině případů frézování je více břitů frézy v záběru,
- tříska je vždy dělená, protože záběr břitu periodicky přerušovaný.



Obr. 9 Znázornění změny tloušťky třísky válcového a čelního frézování. [2]

Maximální velikost jmenovité tloušťky třísky nabývá hodnoty dle vztahu (1).

$$h_{max} = f_z \cdot \sin \varphi_{max} \quad (1)$$

kde:  $h_{max}$  [mm] - maximální velikost jmenovité tloušťky třísky,  
 $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $\varphi$  [°] - úhel posuvového pohybu.

Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  nabývá hodnoty dle vztahu (2).

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (2)$$

kde:  $A_{Di}$  [mm] - jmenovitý průřez třísky,  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $h_i$  [mm] - velikost jmenovité tloušťky třísky.

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky  $A_{Dmax}$  nabývá hodnoty dle vztahu (3).

$$A_{Dmax} = h_{max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{max} \quad (3)$$



## 2.4 Řezné podmínky [1, 2, 3]

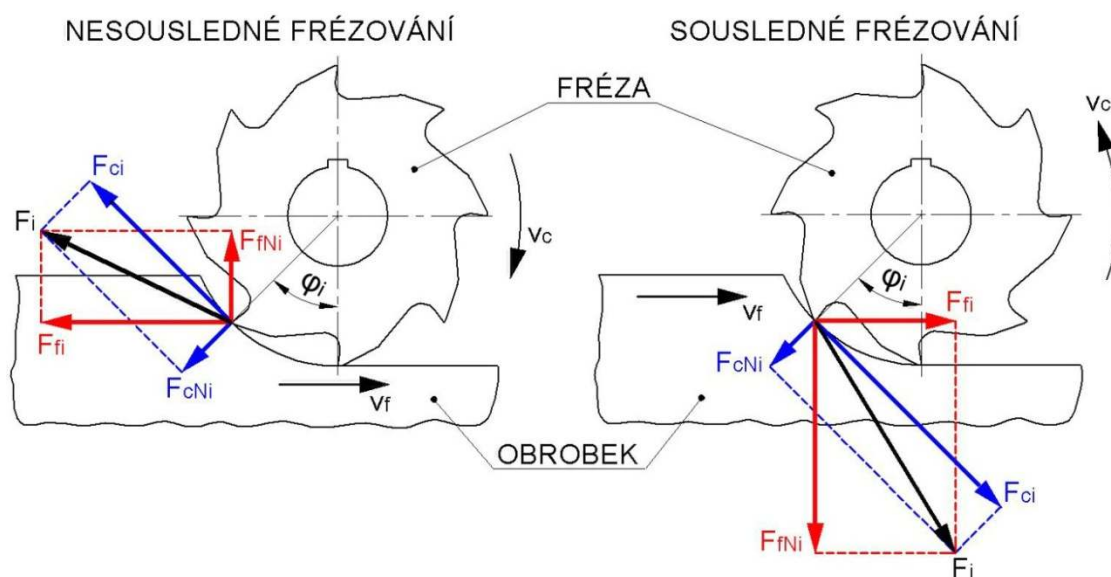
Pro zajištění úspěšného průběhu operací frézováním je nutné dodržovat konkrétní řezné podmínky. Řezné podmínky jsou voleny dle druhu operace (frézování), dle druhu nástroje (frézy) a dle druhu předepsané jakosti obráběných povrchů.

### 2.4.1 Řezné síly

Řezné síly a jejich znalost zajišťují úspěšný průběh operace frézováním. Velikost složek řezných sil a jejich směr je závislý na mnoha faktorech. Těmito faktory jsou způsob frézování, druh frézy, poloha frézy, materiál obrobku, geometrie břitu, tloušťka třísky, opotřebení břitu nástroje a další řezné podmínky.

Při frézování je nutné specifikovat řezné síly. Jejich specifikace vychází ze silových poměrů na jednom břitu, nacházející se v poloze dané úhlem posuvového pohybu  $\varphi_i$ . Pro válčové frézování frézou s přímými zuby je celková řezná síla  $F_i$  působící na břit frézy rozložena na složky:

- $F_{ci}$  [N] - řezná síla
- $F_{cNi}$  [N] - kolmá řezná síla
- $F_{fi}$  [N] - posuvová síla
- $F_{fNi}$  [N] - kolmá posuvová síla



Obr. 10 Řezné síly na zubu válčové frézy sousledného a nesousledného frézování. [3]

Měrná řezná síla  $k_{ci}$  pro válčové frézování nabývá hodnoty dle vztahu (4).

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad (4)$$

- kde:  $k_{ci}$  [N] - měrná řezná síla,  
 $C_{Fc}$  [-] - materiálová konstanta pro výpočet tečné složky řezné síly  $F_c$ ,  
 $x$  [mm] - exponent vlivu šířky záběru  $a_p$ .

Řezná síla  $F_{ci}$  pro válcové frézování nabývá hodnoty dle vztahu (5).

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \quad (5)$$

Měrná řezná síla  $k_{ci}$  pro čelní frézování se vyjádří dle vztahu (6).

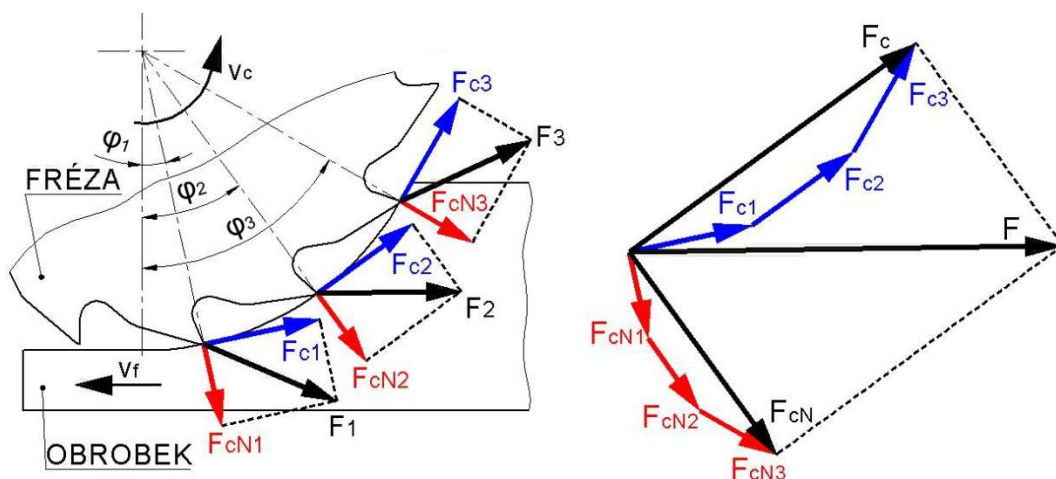
$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad (6)$$

kde:  $\kappa_r [^\circ]$  - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.

Řezná síla  $F_{ci}$  pro čelní frézování se vyjádří podobným způsobem dle vztahu (7).

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sin^x \varphi_i \quad (7)$$

Při frézování je několik zubů frézy v záběru zároveň. Výsledná řezná síla je v tomto případě závislá na počtu zubů frézy v záběru a na poloze zubů frézy dané úhlem posuvového pohybu  $\varphi_i$  vzhledem k obrobku.



Obr. 11 Průběh řezných sil při nesousledném válcovém frézování pro více zubů frézy v záběru. [2]

Počet zubů v současném záběru je dán vztahem (8).

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z \quad (8)$$

kde:  $n_z [-]$  - počet zubů v současném záběru,

$z [-]$  - počet zubů frézy,

$\varphi_{max} [^\circ]$  - maximální úhel posuvového pohybu zubů v záběru.

Celková řezná síla  $F_c$  pro válcové frézování nabývá hodnoty dle vztahu (9).

$$F_c = \sum_{i=1}^{i=n_z} F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum \sin^x \varphi_i \quad (9)$$

Celková řezná síla  $F_c$  pro čelní frézování nabývá hodnoty dle vztahu (10).

$$F_c = \sum_{i=1}^{i=n_z} F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sum \sin^x \varphi_i \quad (10)$$

Krouticí moment  $M_k$  všech zubů je dán vztahem (11).

$$M_k = F_c \cdot \frac{D}{2} \quad (11)$$

kde:  $M_k$  [N·mm] - krouticí moment všech zubů,

$D$  [mm] - průměr frézy.

Empiricky stanovené hodnoty materiálových konstant  $C_{Fc}$  a exponentů vlivu šířky záběru  $x$  pro frézování válcovou a čelní frézou se liší dle materiálu. Pro litinu s tvrdostí HB 180 ÷ 200 jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Hodnoty materiálových konstant  $C_{Fc}$  a exponentů vlivu šířky záběru  $x$ . [3]

	Válcová fréza		Čelní fréza	
Obráběný materiál	$C_{Fc}$	$x$	$C_{Fc}$	$x$
Litina HB 180 ÷ 200	850	0,67	850	0,67

Často se složky řezné síly  $F_c$  určují z empiricky získaných výrazů:

- $F_{cN} = (0,60 \text{ až } 0,80) \cdot F_c$
- $F_{fN} = (0,20 \text{ až } 0,30) \cdot F_c$  (pro nesousledné frézování)
- $F_{fN} = (0,75 \text{ až } 0,80) \cdot F_c$  (pro sousledné frézování)
- $F_f = (1,00 \text{ až } 1,20) \cdot F_c$  (pro nesousledné frézování)
- $F_f = (0,80 \text{ až } 0,90) \cdot F_c$  (pro sousledné frézování)

#### 2.4.2 Další řezné podmínky

Mezi další základní řezné podmínky při frézování pro daný obráběný materiál patří:

- řezná rychlost  $v_c$  [m·min<sup>-1</sup>],
- posuv na zub  $f_z$  [mm],
- posuvová rychlost  $v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>].

Při frézování se řezné podmínky volí dle druhu frézovací operace, dle druhu použité frézy a dle druhu předepsané jakosti povrchu  $R_a$  obráběné plochy.

Řezná rychlost frézování  $v_c$  je dána vztahem (12).

$$v_c = \frac{c_v \cdot D^{x_D}}{(T_{opt})^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_p} \cdot f_z^{y_v} \cdot z^{x_z}} \quad (12)$$

kde:  $v_c$  [m·min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost,

D [mm]	-	průměr frézy,
T <sub>opt</sub> [mm]	-	trvanlivost nástroje,
a <sub>p</sub> [mm]	-	hloubka frézování,
a <sub>e</sub> [mm]	-	šířka frézování,
f <sub>z</sub> [mm]	-	posuv frézy na zub,
z [-]	-	počet zubů frézy.

Tab. 2.2 Hodnoty konstant a exponentů pro výpočet řezné rychlosti při frézování šedé litiny frézami SK. [2]

Druh frézy	c <sub>v</sub>	x <sub>D</sub>	x <sub>e</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>v</sub>	x <sub>z</sub>	m <sup>-1</sup>
Válcová	1050	0,37	0,13	0,19	0,23	0,14	0,42
Čelní	530	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32

Tab. 2.3 Informativní řezné podmínky pro frézování litiny. [2]

Tvrdost litiny HB	Mat. nástr.	Frézovací hlavy		Kotoučové a válcové frézy			Čelní válcové stopkové frézy	
		v <sub>c</sub>	f <sub>z</sub>	v <sub>c</sub> (hrub.)	v <sub>c</sub> (dokon.)	f <sub>z</sub>	v <sub>c</sub>	f <sub>z</sub>
HB 160	RO	35	0,1 ÷ 0,3	25	30	0,1 ÷ 0,2	35	0,1 ÷ 0,2
HB 200	RO	25	0,1 ÷ 0,3				25	0,1 ÷ 0,15
HB 160	SK	60	0,1 ÷ 0,35	75	100	0,1 ÷ 0,3	70	0,1 ÷ 0,3
HB 200	SK	50	0,1 ÷ 0,25				55	0,1 ÷ 0,2

## 2.5 Technologicko-ekonomické veličiny frézování [2, 3, 4]

Znalost technologicko-ekonomických veličin je velmi důležitá pro určení výrobního času, trvanlivosti nástroje, potřebného řezného výkonu stroje a z toho všeho vycházejících nákladů na výrobu dané součásti. Tyto veličiny jsou popsány v následujících vztazích.

Velikost frézované plochy S je dána vztahem (13).

$$S = \frac{B \cdot h \cdot s_m}{1000} \quad (13)$$

kde:	S [cm <sup>2</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	-	velikost frézované plochy,
	B [mm]	-	šířka frézovaného materiálu,
	h [mm]	-	hloubka frézování,
	s <sub>m</sub> [mm·min <sup>-1</sup> ]	-	posuv obrobku.

Objem odebraného materiálu V je dán vztahem (14).

$$V = Q \cdot T \quad (14)$$

kde:	V [cm <sup>3</sup> ]	-	objem odebraného materiálu,
	T [min]	-	trvanlivost nástroje pro stanovené kritérium opotřebení,
	Q [cm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	-	úběr frézovaného materiálu.

Úběr frézovaného materiálu  $Q$  je dán vztahem (15).

$$Q = \frac{B \cdot h \cdot s_m}{1000} \quad (15)$$

Efektivní řezný výkon  $P_{ef}$  je dán vztahem (16) nebo také dle vztahu (17).

$$P_{ef} = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \quad (16)$$

$$P_{ef} = \frac{Q}{K} = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f \cdot 10^{-3}}{K} \quad (17)$$

kde:  $P_{ef}$  [kW] - efektivní řezný výkon,  
 $K$  [cm<sup>3</sup>·kW<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>] - objemový součinitel,  
 $a_e$  [mm] - šířka frézované plochy.

Optimální trvanlivost nástroje pro minimální výrobní čas (maximální výrobnost) je dána vztahem (18).

$$T_{opt} = (m - 1) \cdot t_{AX} \cdot \lambda \quad (18)$$

kde:  $T_{opt}$  [min] - optimální trvanlivost nástroje,  
 $m$  [-] - exponent řezné rychlosti v závislosti na trvanlivosti,  
 $t_{AX}$  [min] - čas na výměnu a seřízení nástroje,  
 $\lambda$  [-] - poměr čistého času frézování k času hlavnímu.

## 2.6 Faktory ovlivňující jakost frézované plochy

Každý řezný nástroj zanechává na frézovaném povrchu určité stopy, které vytváří vzhled a funkční vlastnosti dané plochy. Teoreticky dosažitelnou jakost povrchu, které by mělo být za ideálních podmínek dosaženo, lze vypočítat. Skutečný výsledek jakosti povrchu je ovlivněn mnoha faktory obráběcího procesu. Těmito nejčtenějšími faktory jsou druh obráběcího procesu, stupeň opotřebení břitu a statické a dynamické tuhosti celého systému (stroj, nástroj, obrobek a upínání).

Ovlivňující faktory ve vztahu k řeznému nástroji: [1]

- stabilita,
- vyložení,
- materiál nástroje
- geometrie břitu,
- opotřebení břitu nástroje,
- řezné podmínky,
- utváření třísky,
- teplota na břitu nástroje při obrábění.

Ovlivňující faktory ve vztahu k obráběcímu stroji: [1]

- stabilita,
- prostředí obrábění,
- chladicí kapalina,
- technický stav,
- příkon a tuhost.

Ovlivňující faktory ve vztahu k obrobku: [1]

- stabilita,
- materiál a způsob jeho tepelného zpracování,
- konstrukce,
- přídatky na obrábění,
- předcházející proces obrábění.

Při obrábění kovů je nejdůležitější stabilita. Jsou-li vibrace velké, projeví se to na frézovaném povrchu. Vibrace se projeví, pokud stroj není přesně seřízen a kvalitně udržován. To vede k následnému zkrácení trvanlivosti nástroje a špatné jakosti frézovaného povrchu obrobku. Nežádoucí vibrace mohou způsobit také i jiné příčiny:

- vyložení vřetene (příliš velká vzdálenost mezi vřetenem a obrobkem),
- upnutí obrobku (obrobek by měl být upnut s ohledem na smysl a velikost řezných sil při obrábění),
- volba nástroje (nevhodná volba geometrie bříty, nevhodná volba rozteče zubů frézy, průměr frézy by měl být zvolen vzhledem k šířce obráběné plochy),
- posuv na zub,
- hloubka řezu (je vhodné zvolit obrábění do několika záběrů).

### 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Pro výrobu příčnicku je nutno navrhnout technologický postup výroby se všemi potřebnými stroji a nástroji.

Následující podkapitoly (návrh strojů a nástrojů výroby součásti příčnick a návrh technologického postupu výroby) jsou řešeny pouze pro operace frézování přesných ploch hydrostatického horizontálního vedení.

#### 3.1 Návrh operací

Pro návrh strojů a nástrojů potřebných pro výrobu je nutné stanovit návrh operací výroby součásti příčnick. Následující návrh operací (viz. tab. 3.1) je uveden pro kompletní výrobu od výdeje a kontroly polotovaru až po finální expedici součásti příčnick. Další následující podkapitoly, počínaje návrhem strojů, jsou nadále řešeny pouze pro výrobu přesných ploch hydrostatického horizontálního vedení od hrubování až po dokončení.

Tab. 3.1 Návrh operací výroby příčnicku.

Pořadí operací	Pracoviště	Druh operace
1/1	OTK	kontrolovat rozměry odlitku
2/2	zámečnická dílna	orýsovat pro opracování
3/3	obráběcí centrum	frézovat v poloze 1
4/4	obráběcí centrum	frézovat, vrtat a závitovat v poloze 2
5/5	OTK	kontrolovat obrobené rozměry
6/6	obráběcí centrum	frézovat, vrtat a závitovat v poloze 1
7/7	obráběcí centrum	frézovat, vrtat a závitovat v poloze 3
8/8	obráběcí centrum	frézovat, vrtat a závitovat v poloze 4
9/9	obráběcí centrum	jemně frézovat, vrtat a závitovat v poloze 1
10/10	obráběcí centrum	jemně frézovat, vrtat a závitovat v poloze 3
11/11	OTK	kontrolovat obrobené rozměry a jejich geometrické přesnosti
12/12	obráběcí centrum	jemně frézovat hotově v poloze 1
13/13	obráběcí centrum	jemně frézovat hotově v poloze 2
14/14	OTK	kontrolovat obrobené rozměry a jejich geometrické přesnosti
15/15	obráběcí centrum	jemně frézovat hotově v poloze 3
16/16	obráběcí centrum	jemně frézovat hotově v poloze 4
17/17	zámečnická dílna	celková úprava a vyražení popisu
18/18	OTK	kontrolovat obrobené rozměry a jakost povrchu
19/19	expedice	konzervovat, balit

#### 3.2 Návrh strojů

Dle návrhu operací výroby příčnicku (viz. tab. 3.1) je využito především ve velké míře operací frézování, dále také vrtání a závitování na obráběcím centru s posuvným portálem.

Navržený stroj je řízen CNC systémem SIEMENS Sinumerik 840D.

K výrobě bylo navrženo obráběcí centrum s posuvným portálem FRUQ 400 - VR/24.



Obr. 12 Portálový frézovací stroj FRUQ 400 - VR/24. [9]

„Obráběcí centrum s posuvným portálem po samostatných ložích a s přesuvným příčnickem je určeno pro obrábění těžkých a rozměrných obrobků.“ [9] Kódové označení stroje FRUQ 400 - VR/24 vysvětluje tyto základní informace:

- FR - frézka rovinná (portálové vedení),
- U - posuvný portál pohyblivý,
- Q - obráběcí centrum s automatickou výměnou nástrojů,
- 400 - šířka stolu [cm],
- V - pro výměnné vřetenové hlavy,
- R - řetězový zásobník nástrojů,
- 24 - délka podélného zdvihu [m].

Koncepce stroje s vestavným vřetenem ve vřeteníku a s výměnnými hlavami umožňuje přizpůsobit stroj co nejvíce zadaným technologickým požadavkům. Výměna vřetenových hlav umožňuje zvolit optimální typ vřetenové hlavy pro konkrétní obráběcí operaci s využitím výkonnějších řezných podmínek a také rozšíření pracovního prostoru stroje. „Při frézování tvarově velmi složitých obrobků velkých rozměrů, vyžadující obrábění v pěti souvisle řízených osách, tvořených dvěma rotačními a třemi lineárními osami, se uplatní hlavy se souvislým řízením ve dvou osách. Lze toho využít i při obrábění otvorů a ploch pod různými sklony.“ [9]

„Elektrovřetenno umožňuje obrábění tvarových obrobků vysokými řeznými rychlostmi, při kterém lze dosáhnout zkrácení výrobního času, nebo při zjemnění řádkování dosáhnout vyšší přesnosti obrobeného tvaru a vyšší kvality povrchu (snížení času na dokončovací operace).“ [9] Výměnné hlavy se uplatní při výkonném obrábění velkých obrobků z pěti stran, čímž lze snížit počet přepínání obrobků.

„Vysoká pracovní přesnost stroje umožňuje jemné obrábění ploch s požadavky na rovinnost, vzájemnou rovnoběžnost a kolmost. Parametry stroje umožňují obrábět širokou paletu materiálů včetně legovaných ocelí a slitin z lehkých kovů.“ [9]



Tab. 3.2 Základní technické parametry obráběcího centra FRUQ 400 - VR/24. [5]

Typ technického parametru	Jednotky	Velikost parametru
Pracovní zdvih v ose X	[mm]	4 000 ÷ 25 000
Pracovní zdvih v ose Y	[mm]	5900
Pracovní zdvih v ose Z	[mm]	1 250 / 1 500
Upínací plocha stolu	[mm]	4 000 x (4 000 ÷ 24 000)
Průchodnost mezi stojany	[mm]	5 350
Průchodnost mezi stolem a příčnickem	[mm]	2 200
Rozsah posuvů v ose X	[mm·min <sup>-1</sup> ]	1 ÷ 20 000
Rozsah posuvů v ose Y	[mm·min <sup>-1</sup> ]	1 ÷ 20 000
Rozsah posuvů v ose Z	[mm·min <sup>-1</sup> ]	1 ÷ 12 000
Výkon pohonu	[kW]	60

K výrobě přesných ploch hydrostatického vedení příčnicku je použito dvou výměnných frézovacích hlav, které jsou součástí obráběcího centra FRUQ 400 - VR/24.

- Frézovací hlava přímá VA1



Obr. 13 Výměnná frézovací hlava přímá VA1. [9]

Tab. 3.3 Základní technické parametry výměnné frézovací hlavy přímé VA1. [9]

Typ technického parametru	Jednotky	Velikost parametru
Kužel vřetene ČSN 220433 (ISO 297, DIN 2079)		ISO 50
Otáčky vřetene	[min <sup>-1</sup> ]	20 ÷ 4 000
Maximální krouticí moment vřetena	[Nm]	2 000
Průměr vřetene v předním ložisku	[mm]	85
Výkon hlavního elektrického motoru	[kW]	30
Otáčení v hlavní ose „C“ (vertikální osa)	[°]	± 180
Oboustranná přesnost polohování A <sub>max</sub> v ose „C“	[“]	16
Jednostranná opakovatelnost polohování R <sub>max</sub> v ose „C“	[“]	10

- Frézovací hlava úhlová VP2



Obr. 14 Výměnná frézovací hlava úhlová VP2. [9]

Tab. 3.4 Základní technické parametry výměnné frézovací hlavy úhlové VP2. [9]

Typ technického parametru	Jednotky	Velikost parametru
<b>Kužel vřetene ČSN 220433 (ISO 297, DIN 2079)</b>		ISO 50
<b>Otáčky vřetene</b>	$[\text{min}^{-1}]$	20 ÷ 4 000
<b>Maximální krouticí moment vřetena</b>	$[\text{Nm}]$	1 000
<b>Průměr vřetene v předním ložisku</b>	$[\text{mm}]$	85
<b>Výkon hlavního elektromotoru</b>	$[\text{kW}]$	30
<b>Otáčení v hlavní ose „C“ (vertikální osa)</b>	$[\text{°}]$	± 180
<b>Oboustranná přesnost polohování <math>A_{\text{max}}</math> v ose „C“</b>	$[\text{''}]$	16
<b>Jednostranná opakovatelnost polohování <math>R_{\text{max}}</math> v ose „C“</b>	$[\text{''}]$	10

### 3.3 Návrh nástrojů

Pro výrobu součásti příčnick je také nutno navrhnout nástroje pro určité výrobní operace a určitý druh třískového obrábění s konkrétními a patřičnými vlastnostmi.

Pro hrubování hydrostatických ploch součásti příčnick byly navrženy tyto nástroje:

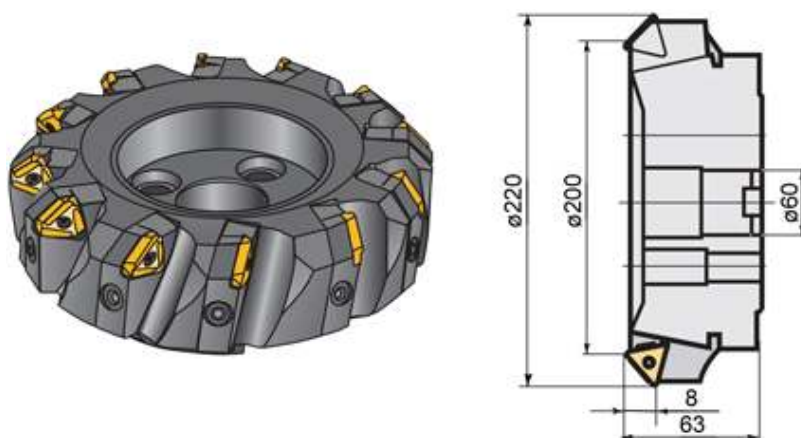
- čelní fréza F2044.0.60.063.200.15 (firma WALTER, s.r.o.),
- čelní fréza 7F2K200 R00 (firma INGERSOLL, s.r.o.),
- kotoučová fréza F2252 - 100092 (firma WALTER, s.r.o.).

Využití procesní kapaliny není doporučováno. Obrábění s chlazením vede k vylamování břitů v počátečních stádiích v důsledku trhlin vyvolaných tepelným pnutím.

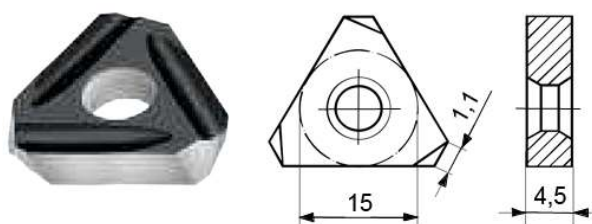
Základní parametry navržených hrubovacích fréz jsou uvedeny v tab. 3.5 ÷ tab. 3.7.

Tab. 3.5 Parametry hrubovací frézy F2044.0.60.063.200.15. [4]

Označení frézy	Označení VBD	z [-]	ØD [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$\kappa_r$ [°]
<b>F2044.0.60.063.200.15</b>	P23522 WKP35	10	200	180	0,35	8	42



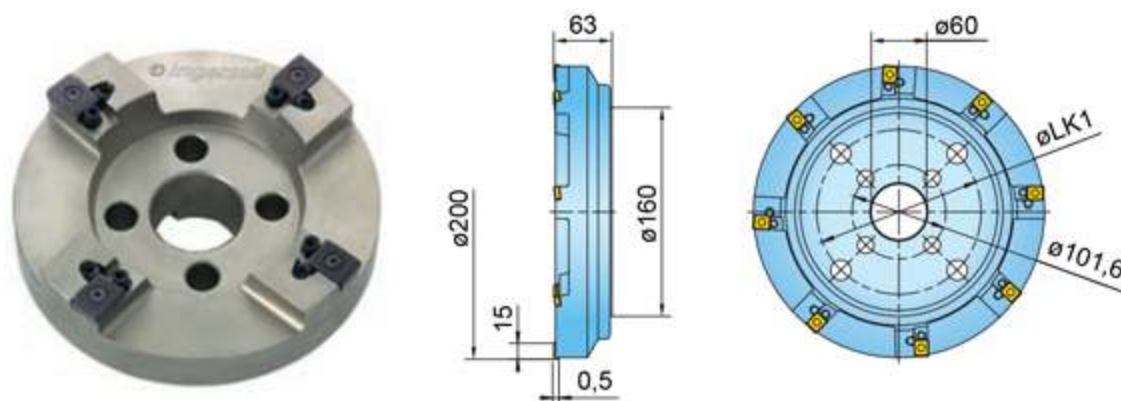
Obr. 15 Fréza F2044.0.60.063.200.15. [4]



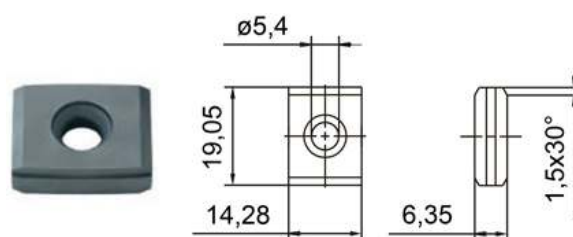
Obr. 16 VBD P23522 WKP35. [4]

Tab. 3.6 Parametry hrubovací frézy 7F2K200 R00. [5]

Označení frézy	Označení VBD	z [-]	ØD [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	f [mm]	$a_p$ [mm]	$\kappa_r$ [°]
<b>7F2K200 R00</b>	YCE434001 2010	1	200	180	4	0,5	0



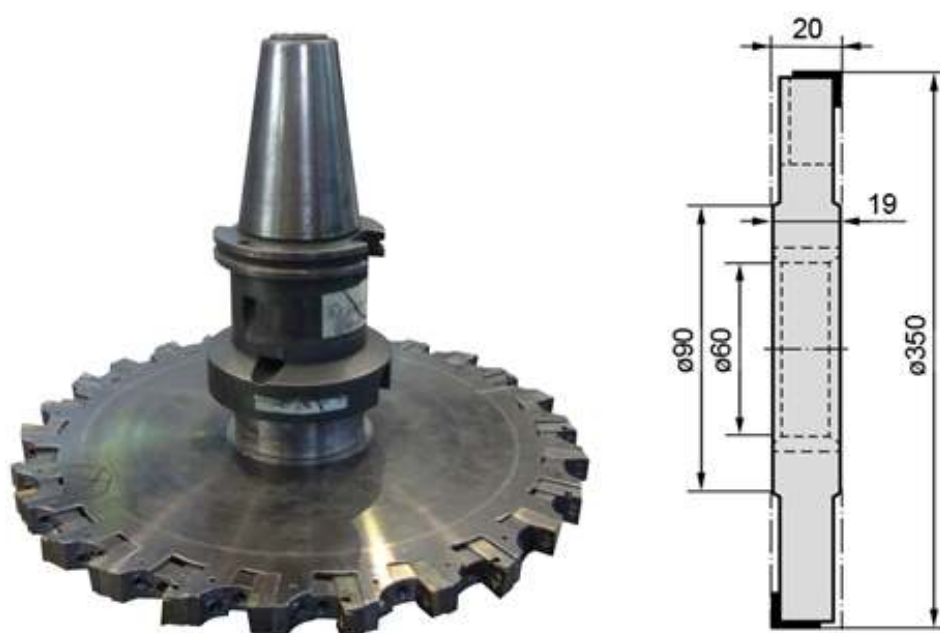
Obr. 17 Fréza 7F2K200 R00. [5]



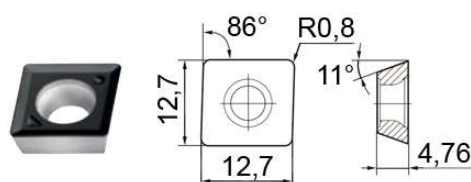
Obr. 18 VBD YCE434001 2010. [5]

Tab. 3.7 Parametry hrubovací frézy F2252 - 100092. [4]

Označení frézy	Označení VBD	z [-]	ØD [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$\kappa_r$ [°]
<b>F2252 - 100092</b>	MPMT120408 - F57	27	350	120	0,3	20	90



Obr. 19 Kotoučová fréza F2252 - 100092. [4]



Obr. 20 VBD MPMT120408 - F57. [4]

Pro operace dokončování byly navrženy nástroje dle experimentálních zkoušek frézování, při kterých byly nejlépe hodnoceny nástroje firmy Sumitomo od dodavatele TGS spol., s.r.o. (viz kapitola 4).

Používané nástroje:

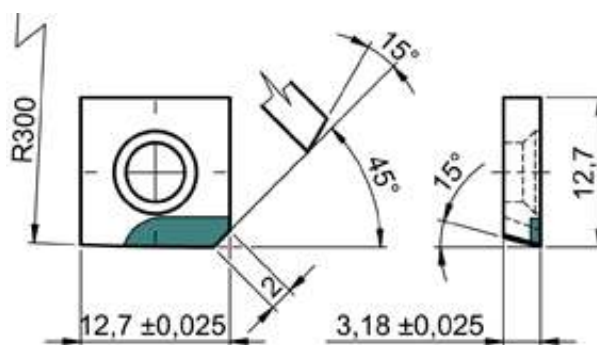
- čelní fréza FMU 4200 R-S,
- čelní fréza FMU 4250 R-S,
- čelní fréza FMU 4250 R-S SPC,
- čelní fréza FMU 4330 R-S SPC.

Základní informace navržených dokončovacích čelních fréz jsou uvedeny v tab. 3.8.

Čelní fréza FMU 4250 R-S SPC a FMU 4330 R-S SPC je navržena pro speciální operaci frézování horní a spodní lištové plochy hydrostatických ploch. Zuby frézy směřují opačným směrem, než u frézy FMU 4250 R-S. Detailnější informace fréz série FMU 4 000 jsou uvedeny v příloze 5.

Pro kompletní dokončovací frézovací operace včetně jemného frézování byly navrženy tyto VBD s CBN povlakem:

- SNEW 1203ADTR BN700.



Obr. 21 VBD SNEW 1203ADTR BN700. [8]

Tab. 3.8 Parametry sady dokončovacích fréz. [8]

Typ techn. parametru	Fréza FMU 4200 R-S	Fréza FMU 4250 R-S	Fréza FMU 4250 R-S SPC	Fréza FMU 4250 R-S SPC
<b>z [-]</b>	16	20	20	25
<b><math>v_c</math> [<math>m \cdot min^{-1}</math>]</b>	800 ÷ 2 000	800 ÷ 2 000	800 ÷ 2 000	800 ÷ 2 000
<b><math>f_z</math> [mm]</b>	0,1 ÷ 0,3	0,1 ÷ 0,3	0,1 ÷ 0,3	0,1 ÷ 0,3
<b><math>a_p</math> [mm]</b>	max. 0,5	max. 0,5	max. 0,5	max. 0,5
<b><math>\kappa_r</math> [°]</b>	90	90	90	90



Obr. 22 Fréza FMU 4250 R-S a FMU 4250 R-S SPC s upínacími trny.

Pro speciálně navrženou čelní frézu FMU 4250 R-S SPC a FMU 4330 R-S SPC bylo nutné navrhnout speciální prodloužený upínací trn ISO 50 - DIN 69871 - A, který je znázorněn v montovaném stavu se speciální frézou na obr. 22.

Výrobní výkres navrženého speciálního upínacího trnu ISO 50 - DIN 69871-A je uveden v příloze 4.

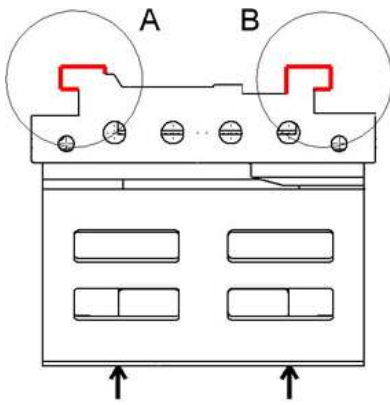
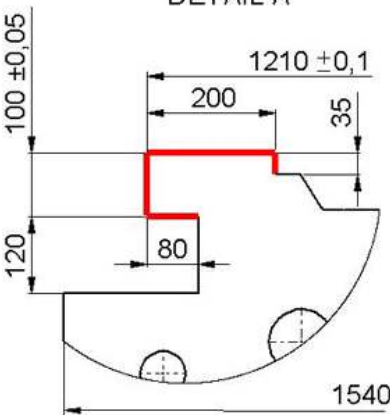
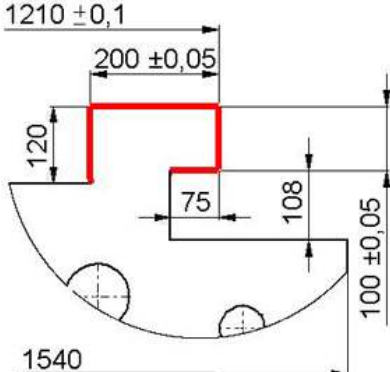
Využití procesní kapaliny není doporučováno. Obrábění s chlazením vede k vylamování břitů v počátečních stádiích v důsledku trhlin vyvolaných tepelným pnutím.

### 3.4 Návrh technologického postupu

Technologický postup je navržen pro výrobu přesných ploch horizontálního hydrostatického vedení. Je navržen od výdeje polotovaru, hrubování až po dokončení ploch a kontrolu jejich jakosti povrchu.

Výrobní technologický postup přesných ploch hydrostatického vedení příčnicku je uveden v tab. 3.9.

Tab. 3.9 Výrobní technologický postup přesných ploch hydrostatického vedení příčnicku.

Č. op.	Pracoviště	Popis práce	Nákres operace
1/1	Sklad 09912	- výdej polotovaru.	<p>Operace 3/3</p>  <p>DETAIL A</p>  <p>DETAIL B</p> 
2/2	RP 09412	- rýsovat pro opracování	
3/3	Obráběcí centrum FRUQ 400-VR24 45285	<ul style="list-style-type: none"> <li>- upnout na horní plochu (půd.), vypodložit konce, vyrovnat,</li> <li>- vizuální kontrola ředin a vměstků při hrubování jednotlivých ploch,</li> <li>- frézovat pravou plochu vedení (2x) kóta <math>385 \pm 0,1</math> na 388 mm od plochy lineárního vedení,</li> <li>- frézovat spodní plochu vedení kóta 150 mm na 148,5 mm,</li> <li>- frézovat spodní lištovou plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> na 102,5 mm vč. vybrání šířky 108 mm na 105 mm a hloubky 75 mm,</li> <li>- frézovat vnitřní plochu vedení kóta <math>200 \pm 0,05</math> na 202,5 mm vč. vybrání šířky 198 mm na 195 mm a hloubky 120 mm,</li> <li>- frézovat horní plochu vedení kóta <math>1210 \pm 0,1</math> mm na 1211,5 mm,</li> <li>- frézovat horní lištovou plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na 102,5 mm vč. vybrání šířky 120 na 117 mm do hloubky 80 mm,</li> <li>- osazení kót 200 mm a 35 mm na 200 mm a 38 mm,</li> <li>- frézovat pravou čelní plochu kóta <math>9\,900 \pm 0,5</math> mm na 9 901,5 mm,</li> <li>- frézovat levou čelní plochu kóta <math>9\,900 \pm 0,5</math> mm na <math>9\,900 + 0,5</math> mm.</li> <li>- jemně frézovat levou čelní plochu ozn. 1,6 do rovinnosti a kolmosti.</li> </ul>	
4/4	OTK 09863	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vizuální kontrola ředin a vměstků po opracování ploch,</li> <li>- kontrola rovinnosti čelní plochy.</li> </ul>	
5/5	MP 09521	- montáž O73-100386 – prodloužení vedení s ohledem na přídávky.	



Č. op.	Pracoviště	Popis práce	Nákres operace
6/6	Obráběcí centrum FRUQ 400-VR24 45285	<ul style="list-style-type: none"> <li>- upnout na horní plochu (R1), vyrovnat,</li> <li>- frézovat pravou plochu vedení (2x) kóta <math>385 \pm 0,1</math> na <math>387 \pm 0,1</math> mm od plochy lineárního vedení,</li> <li>- frézovat spodní plochu vedení kóta 150 mm na 149,5 mm</li> <li>- frézovat spodní lištovou plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> na <math>101 \pm 0,05</math> mm vč. vybrání šířky 108 mm na 107,5 mm do hloubky 75 mm,</li> <li>- frézovat zápich šířky 6 mm do hloubky 1 mm,</li> <li>- frézovat sražení <math>1 \times 45^\circ</math> (2x) na <math>1,5 \times 45^\circ</math>,</li> <li>- frézovat vnitřní plochu vedení kóta <math>200 \pm 0,05</math> na <math>201 \pm 0,1</math> mm vč. vybrání šířky 198 mm na 197,5 mm a hloubky 120 na 120,5 mm,</li> <li>- frézovat sražení <math>1 \times 45^\circ</math> (1x) na <math>1,5 \times 45^\circ</math>,</li> <li>- frézovat zápich šířky 6 mm do hloubky 1 mm,</li> <li>- frézovat horní lištovou plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na <math>101 \pm 0,1</math> mm vč. vybrání šířky 120 a hloubky 80 mm na šířku 119,5 mm a hloubku 80mm,</li> <li>- frézovat sražení <math>1 \times 45^\circ</math> na <math>1,5 \times 45^\circ</math> (2x).</li> </ul>	<p>Operace 6/6</p> <p>Operace 7/7</p>
7/7	Obráběcí centrum FRUQ 400-VR24 45285	<ul style="list-style-type: none"> <li>- upnout na horní plochu (R1), vyrovnat,</li> <li>- jemně frézovat plochy vedení kóta <math>100 \pm 0,05</math> na <math>100,8 \pm 0,05</math> mm,</li> <li>- jemně frézovat plochy vedení kóta <math>200 \pm 0,05</math> na <math>200,8 \pm 0,05</math> mm.</li> <li>- jemně frézovat spodní plochu kóta <math>200 \pm 0,05</math> mm na <math>200,6 \pm 0,05</math> mm,</li> <li>- jemně frézovat spodní lišt. plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na <math>100,6 \pm 0,05</math> mm.</li> <li>- jemně frézovat horní lišt. plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na <math>100,6 \pm 0,05</math> mm.</li> </ul>	
8/8	OTK 09863	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vizuální kontrola ředin a vměstků po opracování ploch,</li> <li>- kontrolovat přesnosti jemně frézovaných ploch.</li> <li>- kontrola rovinnosti obrobených ploch.</li> </ul>	



Č. op.	Pracoviště	Popis práce	Nákres operace
9/9	Obráběcí centrum FRUQ 400-VR24 45285	<ul style="list-style-type: none"> <li>- upnout na horní plochu (R1), vyrovnat,</li> <li>- jemně frézovat plochy vedení kóta <math>100 \pm 0,05</math> na <math>100,4 \pm 0,05</math> mm,</li> <li>- jemně frézovat plochy vedení kóta <math>200 \pm 0,05</math> na <math>200,4 \pm 0,05</math> mm.</li> <li>- jemně frézovat spodní plochu kóta <math>200 \pm 0,05</math> mm na <math>200,2 \pm 0,05</math> mm,</li> <li>- jemně frézovat spodní lišt. plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na <math>100,2 \pm 0,05</math> mm.</li> <li>- jemně frézovat horní lišt. plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na <math>100,2 \pm 0,05</math> mm.</li> </ul>	<p>Operace 9/9</p>
10/10	OTK 09863	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrolovat geometrické přesnosti opracovaných ploch.</li> </ul>	
11/11	Obráběcí centrum FRUQ 400-VR24 45285	<ul style="list-style-type: none"> <li>- upnout horní plochu (R1), pečlivě vyrovnat dle ploch svislého vedení v obou směrech,</li> <li>- frézovat pravou plochu (2x) kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm na <math>100,1 \pm 0,05</math> mm a následné opracování CBN frézou hotově,</li> <li>- frézovat spodní plochu kóta <math>200 \pm 0,05</math> mm na <math>200,1 \pm 0,05</math> mm a následné opracování CBN frézou hotově,</li> <li>- frézovat vnitřní plochu vedení <math>200 \pm 0,05</math> mm s příd. <math>0,01 \div 0,02</math> mm a následné opracování CBN frézou hotově</li> <li>- frézovat spodní lištovou plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm s příd. <math>0,01 \div 0,02</math> mm a následné opracování CBN frézou hotově.</li> <li>- frézovat horní lištovou plochu kóta <math>100 \pm 0,05</math> mm s příd. <math>0,01 \div 0,02</math> mm a následné opracování CBN frézou hotově,</li> <li>- demontáž O73-100386 – prodloužení,</li> <li>- jemně frézovat čelní plochu pro prodloužení do roviny a kolmosti na opracovávané plochy.</li> </ul>	<p>Operace 11/11</p>
12/12	ZP 09421	<ul style="list-style-type: none"> <li>- celková úprava,</li> <li>- vyražení popisu.</li> </ul>	
13/13	OTK 09863	<ul style="list-style-type: none"> <li>- konečná kontrola a zhotovení protokolu přesností a rozměrů pro eventuální (pozdější) opracování nástavce (prodloužení).</li> </ul>	

### 3.5 Operační návodky

Pro jednotlivé operace výroby součásti příčnick je nutné znát jejich výrobní časy, úběr třísky a druh použitého nástroje. Tohoto je dosaženo v operačních návodkách pro konkrétní operace výroby.

#### 3.5.1 Operační návodka výrobní operace 3/3

Operační návodka výrobní operace 3/3 se zabývá hrubováním ploch hydrostatického vedení včetně jejich vybrání. Návodka s konkrétními údaji je umístěna v příloze 6.

#### 3.5.2 Operační návodka výrobní operace 6/6

Operační návodka výrobní operace 6/6 se zabývá frézováním ploch hydrostatického vedení před dokončováním včetně jejich vybrání a sražení hran. Návodka s konkrétními údaji je umístěna v příloze 7.

#### 3.5.3 Operační návodka výrobní operace 7/7

Operační návodka výrobní operace 7/7 se zabývá jemným frézováním první dokončovací třísky ploch hydrostatického vedení. Návodka s konkrétními údaji je umístěna v příloze 8.

#### 3.5.4 Operační návodka výrobní operace 9/9

Operační návodka výrobní operace 9/9 se zabývá jemným frézováním druhé dokončovací třísky ploch hydrostatického vedení. Návodka s konkrétními údaji je umístěna v příloze 9.

#### 3.5.5 Operační návodka výrobní operace 11/11

Operační návodka výrobní operace 11/11 se zabývá jemným frézováním a dokončením ploch hydrostatického vedení s minimální tloušťkou třísky frézou CBN. Návodka s konkrétními údaji je umístěna v příloze 10.

#### 3.5.6 Výpočet výrobního času

Pro výrobu hydrostatických ploch vedení příčnicku z hlediska času je nutné stanovit čas strojní, čas rychloposuvů stroje a čas vedlejší (čas pro výměnu nástroje, čas upínání obrobku, čas měření, apod.) u každé výrobní operace zvlášť.

Výpočty těchto časů jsou názorně uvedeny pro operaci 3/3 (hrubování hydrostatických ploch vedení příčnicku):

- výpočet otáček vřetene  $n$ :

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1\,000 \cdot 180}{\pi \cdot 200} = 286,5 \text{ min}^{-1} \quad (19)$$

kde:  $n [\text{min}^{-1}]$  - otáčky vřetene / nástroje,  
 $v_c [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$  - řezná rychlost frézování,  
 $D [\text{mm}]$  - průměr frézy.

Hodnoty  $v_c$  jsou převzaty z katalogů nástrojů.

- strojn  čas  $t_{AS}$ :

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f_z \cdot z} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f_z \cdot z} = \frac{11\,024}{290 \cdot 0,35 \cdot 10} = 10,861 \text{ min} \quad (20)$$

- kde:
- |                |   |                         |
|----------------|---|-------------------------|
| $t_{AS}$ [min] | - | strojn  čas,            |
| $L$ [mm]       | - | celkov  délka obr b n , |
| $l$ [mm]       | - |  ist  délka obr b n ,   |
| $l_n$ [mm]     | - | délka náběhu nástroje,  |
| $l_p$ [mm]     | - |  ist  přeběhu nástroje, |
| $f_z$ [mm]     | - | posuv na zub nástroje.  |

Hodnoty  $f_z$  jsou převzaty z katalogů nástrojů.

-  as rychloposuvu stroje  $t_{AV}$ :

$$t_{AV} = \frac{L_{RX}}{f_{RX}} + \frac{L_{RY}}{f_{RY}} + \frac{L_{RZ}}{f_{RZ}} = \frac{11\,024}{20\,000} + 0 + \frac{20}{12\,000} = 0,553 \text{ min} \quad (21)$$

- kde:
- |                |   |                                    |
|----------------|---|------------------------------------|
| $t_{AV}$ [min] | - |  as rychloposuvu stroje,           |
| $L_{RX}$ [mm]  | - | délka rychloposuvu stroje v ose X, |
| $L_{RY}$ [mm]  | - | délka rychloposuvu stroje v ose Y, |
| $L_{RZ}$ [mm]  | - | délka rychloposuvu stroje v ose Z, |
| $f_{RX}$ [mm]  | - | posuv rychloposuvu stroje v ose X, |
| $f_{RY}$ [mm]  | - | posuv rychloposuvu stroje v ose Y, |
| $f_{RZ}$ [mm]  | - | posuv rychloposuvu stroje v ose Z. |

-  as vedlejší  $t_N$ :

Hodnota času  $t_N$  je dána odborn m odhadem a interními podklady firmy TOS Kuřim a.s., kter  je sestavena dle m  en .

Tab. 3.10 Hodnoty vedlejších  as .

Druh vedlej���ho času $t_N$	Hodnota [min]
<b>Ustavování a upínání obrobku</b>	960
<b>V�m��na nástroje</b>	0,5
<b>V�m��na v�retenov� hlavy</b>	0,5
<b>M��en� jedn� obroben� plochy</b>	30

- kusov   as pro jednotliv  operace:

$$t_A = \sum t_{AS} + \sum t_{AV} + \sum t_N \quad (22)$$

Výpočty kusového času pro jednotlivé operace:

- kusový čas  $t_A$  operace 3/3 součásti příčnick:  
 $\Sigma t_{AS} = 121,9 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_{AV} = 8,12 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_N = 1\,266 \text{ min}$ .

$$t_A = 121,9 + 8,12 + 1\,266 = 1\,396 \text{ min}$$

- kusový čas operace 6/6 součásti příčnick:  
 $\Sigma t_{AS} = 59,13 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_{AV} = 3,843 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_N = 1\,143 \text{ min}$ .

$$t_A = 59,13 + 3,843 + 1\,143 = 1\,206 \text{ min}$$

- kusový čas operace 7/7 součásti příčnick:  
 $\Sigma t_{AS} = 41,78 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_{AV} = 3,846 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_N = 184 \text{ min}$ .

$$t_A = 41,78 + 3,846 + 184 = 230 \text{ min}$$

- kusový čas operace 9/9 součásti příčnick:  
 $\Sigma t_{AS} = 41,78 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_{AV} = 3,846 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_N = 184 \text{ min}$ .

$$t_A = 41,78 + 3,846 + 184 = 230 \text{ min}$$

- kusový čas operace 11/11 součásti příčnick:  
 $\Sigma t_{AS} = 83,554 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_{AV} = 7,054 \text{ min}$ ,  $\Sigma t_N = 184 \text{ min}$ .

$$t_A = 83,554 + 7,054 + 184 = 275 \text{ min}$$

Tab. 3.11 Hodnoty výrobních časů.

Celkový čas	Hodnota [min]
Hrubování ploch hydrostatického vedení	2 602
Dokončování ploch hydrostatického vedení	735
Celková výroba ploch hydrostatického vedení	3 337

Pro ekonomické zhodnocení příčnicku je důležité porovnání finančního zhodnocení výrobního času dokončování s finančním zhodnocením výroby v kooperaci broušením. V tomto ohledu je nutné započítat do výrobního času dokončování i čas upnutí a ustavení příčnicku.

Tab. 3.12 Hodnoty výrobního času dokončování ploch příčnicku.

Celkový čas	Hodnota [min]
Ustavení a upnutí obrobku	960
Dokončování ploch hydrostatického vedení	735
Celkový čas dokončování ploch frézováním	1 695

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY NÁSTROJOVÉHO VYBAVENÍ

Pro dosažení kvality povrchu  $Ra < 0,8\mu m$  hydrostatických ploch součásti příčnick je nutné zvolit vhodný nástroj z hlediska kvality povrchu při obrábění a trvanlivosti břitů nástroje. To je zjištěno pomocí experimentálních zkoušek nástrojů konkrétních firem.

Nástroje jsou zkoušeny na součásti O72 – 100261 (Lože střední díl – zmetkový kus odlitý v Čelákovících) za různých řezných podmínek. Následně je měřena kvalita povrchu  $Ra$  v určitých délkách dráhy nástroje.

Dodavatelé zkoušených nástrojů:

- ISCAR ČR, s.r.o.,
- KENNAMETAL CZECH, s.r.o.,
- MAPAL CZ, s.r.o.,
- SECO TOOLS CZ, s.r.o.,
- TGS spol., s.r.o.,
- WALTER CZ, s.r.o.

### 4.1 Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy ISCAR ČR, s.r.o.

Zkoušky dokončování přesných ploch čelním rovinným frézováním jsou provedeny za různých řezných podmínek, které jsou měněny po určitých délkách pracovní dráhy  $L$ . Zkoušky jsou provedeny na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VA1. Testovaný materiál je zkušební kus lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 185 HB.

#### • Zkouška č. 1:

Tab. 4.1 Zkoušený nástroj firmy ISCAR ČR, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø200 mm
Označení nástroje	7F2K200R00
Označení VBD	YCE 434 - 001 IN0560
Počet zubů $z$ [-]	1
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	0
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.2 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 1.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$Ra$ [μm]
1	180	1 430	286	5	0,04	140	0 ÷ 12	<b>0,3 ÷ 0,7</b>
2	220	1 750	350	5	0,04	140	12 ÷ 24	<b>0,4 ÷ 0,8</b>
3	251	1 600	400	4	0,03	140	24 ÷ 36	<b>0,4 ÷ 0,8</b>
4	251	1 600	400	4	0,02	140	0 ÷ 4	<b>0,4 ÷ 0,8</b>
5	226	1 680	360	4,7	0,02	140	4 ÷ 8	<b>0,4 ÷ 0,8</b>
6	176	1 440	280	5,1	0,02	140	8 ÷ 12	<b>0,4 ÷ 0,8</b>

- **Zkouška č. 2:**

Tab. 4.3 Zkoušený nástroj firmy ISCAR ČR, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø200 mm
Označení nástroje	7F2K200R00
Označení VBD	YCE 434 - 001 IN0560
Počet zubů z [-]	3
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	0
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.4 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 2.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	251	1 600	400	4	0,03	140	0 ÷ 12	<b>0,3 ÷ 1</b>

- **Zkouška č. 3:**

Tab. 4.5 Zkoušený nástroj firmy ISCAR ČR, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø200 mm
Označení nástroje	7F2K200R00
Označení VBD	YCE 434 - 001 IN2010
Počet zubů z [-]	1
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	0
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.6 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 3.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	201	1 600	320	5	0,02	140	0 ÷ 12	<b>0,8 ÷ 1,4</b>
2	251	1 600	400	4	0,03	140	12 ÷ 36	<b>0,9 ÷ 1,8</b>

- **Zkouška č. 4:**

Tab. 4.7 Zkoušený nástroj firmy ISCAR ČR, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø400 mm
Označení nástroje	7F2K400R00
Označení VBD	YCE 434 - 001 IN0560
Počet zubů z [-]	1
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	0
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.8 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 4.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$Ra$ [μm]
1	182	800	145	5,5	0,05	320	0 ÷ 37	<b>0,3 ÷ 1,1</b>

- Zkouška č. 5:**

Tab. 4.9 Zkoušený nástroj firmy ISCAR ČR, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø400 mm
Označení nástroje	7F2K400R00
Označení VBD	YCE 434 - 001 IN60C
Počet zubů z [-]	1
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	0
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.10 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 5.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$Ra$ [μm]
1	201	880	160	5,5	0,05	320	0 ÷ 37	<b>0,3 ÷ 1,1</b>

- Zhodnocení nástrojů firmy ISCAR ČR, s.r.o.:**

Nástroje firmy ISCAR ČR, s.r.o. byly testovány na zkušebním kusu lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících). Na zkušebním kusu byla aplikovaná čelní fréza Ø200 mm a bylo dosaženo jakosti struktury povrchu  $Ra = 0,3 \div 1 \mu\text{m}$  po obrobení 24 m plochy. Dále byla zkoušena čelní fréza Ø400 mm a bylo dosaženo jakosti struktury povrchu  $Ra = 0,3 \div 1,1 \mu\text{m}$  po obrobení 37 m plochy.

#### 4.2 Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy KENAMETAL CZECH, s.r.o.

Zkoušky dokončování přesných ploch čelním rovinným frézováním jsou provedeny za různých řezných podmínek, které jsou měněny po určitých délkách pracovní dráhy  $L$ . Zkoušky jsou provedeny na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VA1. Testovaný materiál je zkušební kus lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 155 HB.

- Zkouška:**

Tab. 4.11 Zkoušený nástroj firmy KENAMETAL CZECH, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø200 mm
Označení nástroje	200C24RP70SP12C4WFP
Označení VBD	SPHX1205ZCERGP KC915M
Označení VBD	SPHX1205ZCERGP1W KC915M
Počet zubů z [-]	24
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	90
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.12 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	330	1 050	525	0,083	0,1	170	0 ÷ 9	0,7 ÷ 1,6

- Zhodnocení nástrojů firmy KENNAMETAL CZECH, s.r.o.:**

Nástroje firmy KENNAMETAL CZECH, s.r.o. byly testovány na zkušebním kusu lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 155 HB. Na zkušebním kusu byla aplikovaná čelní fréza Ø200 mm a bylo dosaženo jakosti struktury povrchu  $R_a = 0,7 \div 1 \mu\text{m}$  po celé ploše obrábění.

#### 4.3 Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy MAPAL CZ, s.r.o.

Zkoušky dokončování přesných ploch čelním rovinným frézováním jsou provedeny za různých řezných podmínek, které jsou měněny po určitých délkách pracovní dráhy  $L$ . Zkoušky jsou provedeny na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VA1. Testovaný materiál je zkušební kus lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 185 HB.

- Zkouška č. 1:**

Tab. 4.13 Zkoušený nástroj firmy MAPAL CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø250 mm
Označení nástroje	MAPAL Ø250
Označení VBD	30029817 (26 ks hrubovacích)
Označení VBD	30036818 (4 ks dokončovacích)
Počet zubů $z$ [-]	30
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	90
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.14 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 1.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	220	1 260	280	0,15	0,2	190	0 ÷ 8	1,1 ÷ 2
2	267	1 000	340	0,1	0,2	190	8 ÷ 16	1 ÷ 1,8

- Zkouška č. 2:**

Tab. 4.15 Zkoušený nástroj firmy MAPAL CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø250 mm
Označení nástroje	MAPAL Ø250
Označení VBD	30029817 - (26 ks hrubovacích)
Označení VBD	30033833 - (4 ks dokončovacích)
Počet zubů $z$ [-]	30
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	90
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871



Tab. 4.16 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 2.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	267	1 000	340	0,1	0,2	190	0 ÷ 4	<b>1,3 ÷ 1,5</b>
2	200	600	255	0,08	0,2	190	4 ÷ 8	<b>1,5 ÷ 1,8</b>

- Zkouška č. 3:**

Tab. 4.17 Zkoušený nástroj firmy MAPAL CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø125 mm
Označení nástroje	WWS Eco Feed Ø125
Označení VBD	CBN Eco Mill FT 150 (50041110) - (16 ks hrubovacích)
Označení VBD	CBN Eco Mill FT 150 (50051111) - (2 ks dokončovacích)
Počet zubů z [-]	18
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	90
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.18 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 3.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	300	690	765	0,05	0,2	95	0 ÷ 4	<b>0,4 ÷ 1,04</b>
2	600	1 377	1 530	0,05	0,2	95	4 ÷ 8	<b>0,3 ÷ 0,7</b>
3	750	1 719	1 910	0,05	0,2	95	8 ÷ 12	<b>0,3 ÷ 0,7</b>
4	750	860	1 910	0,025	0,2	95	12 ÷ 16	<b>0,3 ÷ 0,5</b>
5	750	860	1 910	0,025	0,4	95	16 ÷ 28	<b>0,4 ÷ 0,7</b>
6	750	1 200	1 910	0,035	0,4	95	28 ÷ 32	<b>0,4 ÷ 0,8</b>

- Zkouška č. 4:**

Tab. 4.19 Zkoušený nástroj firmy MAPAL CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø125 mm
Označení nástroje	WWS Eco Feed Ø125
Označení VBD	CBN Eco Mill FT 150 (50041110) - (14 ks hrubovacích)
Označení VBD	CBN Eco Mill FT 150 (50041111) - (4 ks dokončovacích)
Počet zubů z [-]	18
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	90
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.20 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 4.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	750	860	1 910	0,025	0,2	95	32 ÷ 48	<b>0,2 ÷ 0,4</b>

- **Zhodnocení nástrojů firmy MAPAL CZ, s.r.o.:**

Nástroje firmy KENNAMETAL CZECH, s.r.o. byly testovány na zkušebním kusu lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících). U VBD z karbidu bylo dosaženo jakosti povrchu  $Ra = 1 \div 1,8 \mu\text{m}$  po celé ploše obrábění. U VBD z CBN za podmínky použití čtyř dokončovacích destiček byla dosažena jakost povrchu  $Ra = 0,2 \div 0,4 \mu\text{m}$  po celé ploše obrábění pro obrábění 48 m plochy.

#### 4.4 Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy SECO TOOLS CZ, s.r.o.

Zkoušky dokončování přesných ploch čelním rovinným frézováním jsou provedeny za různých řezných podmínek, které jsou měněny po určitých délkách pracovní dráhy L. Zkoušky jsou provedeny na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VA1. Testovaný materiál je zkušební kus lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 185 HB.

- **Zkouška č. 1:**

Tab. 4.21 Zkoušený nástroj firmy SECO TOOLS CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø125 mm
Označení nástroje	R220.30 - 0125 - 12ST
Označení VBD	SEEX1203AFTN - MD14 MH1000
Počet zubů z [-]	5
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	89
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.22 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 1.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	n [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	L [m]	Ra [μm]
1	150	2 000	380	1,05	0,1	95	0 ÷ 4	<b>0,5 ÷ 1,6</b>
2	179	2 400	455	1,05	0,1	95	4 ÷ 8	<b>1,1 ÷ 1,3</b>
3	179	1 800	455	0,79	0,1	95	8 ÷ 12	<b>0,8 ÷ 1,3</b>
4	150	1 500	380	0,79	0,1	95	12 ÷ 16	<b>1 ÷ 1,5</b>
5	150	3 000	380	1,6	0,1	95	16 ÷ 20	<b>1 ÷ 2,2</b>
6	150	1 800	380	0,95	0,05	95	20 ÷ 28	<b>1,1 ÷ 1,5</b>
7	179	2 100	455	1,05	0,05	95	28 ÷ 32	<b>1 ÷ 1,5</b>
8	236	2 800	600	0,9	0,05	95	32 ÷ 36	<b>0,9 ÷ 1,3</b>
9	314	2 800	800	0,7	0,1	95	36 ÷ 40	<b>0,5 ÷ 1,2</b>
10	393	2 800	1 000	0,56	0,05	95	40 ÷ 72	<b>0,8 ÷ 1,2</b>

- **Zkouška č. 2:**

Tab. 4.23 Zkoušený nástroj firmy SECO TOOLS CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø160 mm
Označení nástroje	R220.70 - 8160 - 09 - 15A
Označení VBD	RNGN090300F - LF - CBN200
Počet zubů z [-]	15 (2 vysunuty o 0,05 mm)
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	0
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.24 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 2.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	1 507	1 200	3 000	0,027	0,05	125	0 ÷ 4	<b>0,5 ÷ 1,2</b>
2	1 507	900	3 000	0,02	0,05	125	4 ÷ 8	<b>0,4 ÷ 0,8</b>
3	1 507	720	3 000	0,016	0,05	125	8 ÷ 12	<b>0,5 ÷ 0,8</b>

- **Zhodnocení nástrojů firmy SECO TOOLS CZ, s.r.o.:**

Nástroje firmy SECO TOOLS CZ, s.r.o. byly testovány na zkušebním kusu lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících). U VBD z karbidu bylo dosaženo jakosti povrchu  $R_a = 0,5 \div 1,2 \mu\text{m}$  po celé ploše obrábění. U VBD z CBN byla dosažena jakost povrchu  $R_a = 0,4 \div 0,8 \mu\text{m}$  po celé ploše obrábění.

#### 4.5 Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy TGS spol., s.r.o.

Zkoušky dokončování přesných ploch čelním rovinným frézováním jsou provedeny za různých řezných podmínek, které jsou měněny po určitých délkách pracovní dráhy  $L$ . Zkoušky jsou provedeny na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VA1. Testovaný materiál je zkušební kus lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 185 HB.

- **Zkouška:**

Tab. 4.25 Zkoušený nástroj firmy TGS spol., s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø100 mm
Označení nástroje	FMU 4100 R - S
Označení VBD	SNEW 1203ADTR BN700
Počet zubů z [-]	8
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	90
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.26 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 1.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	1 193	1 520	3 800	0,05	0,2	62,5	0 ÷ 48	<b>0,2 ÷ 0,4</b>
2	1 193	1 520	3 800	0,05	0,03	62,5	48 ÷ 96	<b>0,3 ÷ 0,4</b>

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
3	1 193	1 520	3 800	0,05	0,2	64	96 ÷ 187,5	0,4 ÷ 0,7
4	1 193	1 520	3 800	0,05	0,03	64	187,5 ÷ 279	0,6 ÷ 0,9

- Zhodnocení nástrojů firmy TGS spol., s.r.o.:**

Nástroje firmy TGS spol., s.r.o. byly testovány na zkušebním kusu lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících). Na zkušebním kusu bylo dosaženo jakosti povrchu  $R_a = 0,2 \div 0,4 \mu\text{m}$  po obrobení 96 m plochy. Dále se pokračovalo s již opotřebenými destičkami, ale i přesto se jakost povrchu pohybovala v rozmezí  $R_a = 0,4 \div 0,7 \mu\text{m}$  po obrobení 187,5 m plochy. Po obrobení plochy 279 m plochy došlo ke zhoršení jakosti povrchu na  $R_a = 0,6 \div 0,9 \mu\text{m}$ .

#### 4.6 Zkoušky dokončování přesných ploch nástrojů firmy WALTER CZ, s.r.o.

Zkoušky dokončování přesných ploch čelním rovinným frézováním jsou provedeny za různých řezných podmínek, které jsou měněny po určitých délkách pracovní dráhy  $L$ . Zkoušky jsou provedeny na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VA1. Testovaný materiál je zkušební kus lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících) o tvrdosti 185 HB.

- Zkouška č. 1:**

Tab. 4.27 Zkoušený nástroj firmy WALTER CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø160 mm
Označení nástroje	F2010 - 100942R
Označení VBD	P2905 - 1 WAK 15
Počet zubů $z$ [-]	10
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	89° 45′
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.28 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 1.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	500	697	995	0,07	0,3	140	0 ÷ 13	0,3 ÷ 1,6

- Zkouška č. 2:**

Tab. 4.29 Zkoušený nástroj firmy WALTER CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø160 mm
Označení nástroje	F2010 - 100942R
Označení VBD	P2905 - 1 CBN
Počet zubů $z$ [-]	10
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	89° 45′
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.30 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 2.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	1 000	2 985	1 990	0,15	0,4	125	0 ÷ 4	<b>0,2 ÷ 0,3</b>
2	1 000	1 500	1 990	0,075	0,4	125	4 ÷ 12	<b>0,2 ÷ 0,3</b>
3	1 000	1 000	1 990	0,05	0,4	125	12 ÷ 24	<b>0,3 ÷ 0,4</b>
4	1 000	1 000	1 990	0,05	0,05	125	24 ÷ 36	<b>0,3 ÷ 0,4</b>
5	1 000	1 000	1 990	0,05	0,05	125	36 ÷ 48	<b>0,3 ÷ 0,4</b>
6	1 000	1 000	1 990	0,05	0,05	125	48 ÷ 60	<b>0,3 ÷ 0,4</b>

Při měření č. 1 a č. 2 byla plocha opticky doškrabaná, nebyla jednolitá.

- **Zkouška č. 3:**

Zkouška byla provedena na stroji FRUQ 400-VR/24 s vřetenovou hlavou VP2 při rovinném frézování boční plochy lože.

Tab. 4.31 Zkoušený nástroj firmy WALTER CZ, s.r.o.

Název parametru	Označení parametru / hodnota parametru
Název nástroje	Čelní fréza Ø160 mm
Označení nástroje	F2010 - 100942R
Označení VBD	P2905 - 1 CBN
Počet zubů z [-]	10
Úhel nastavení hl. ostří $\kappa_r$ [°]	89° 45′
Držák nástroje	ISO 50 - DIN 69871

Tab. 4.32 Řezné podmínky a jakost povrchu zkoušky č. 3.

Č. měř.	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$L$ [m]	$R_a$ [μm]
1	1 000	1 000	1 990	0,05	0,4	125	0 ÷ 8	<b>0,3 ÷ 0,4</b>

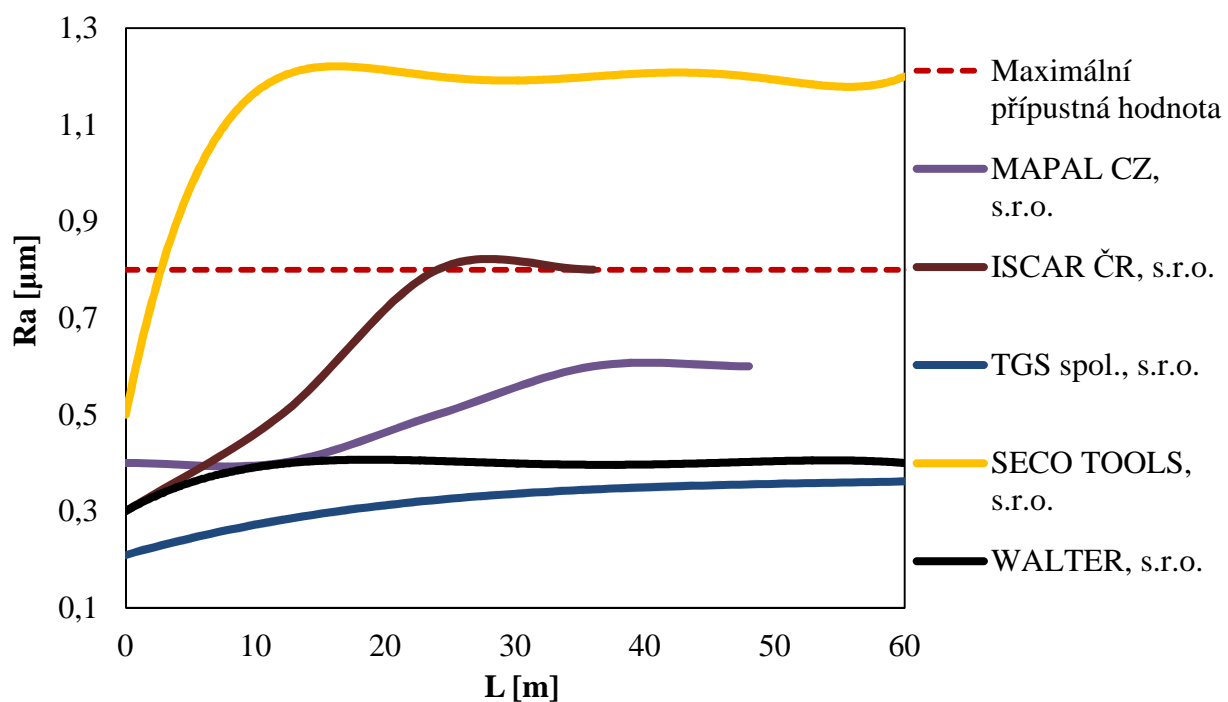
- **Zhodnocení nástrojů firmy WALTER CZ, s.r.o.:**

Nástroje firmy WALTER CZ, s.r.o. byly testovány na zkušebním kusu lože (zmetkový kus odlitý v Čelákovících). Jakost povrchu byla naměřena v rozmezí  $R_a = 0,2 \div 0,4 \mu\text{m}$  po celé ploše obrábění do celkové dráhy obrábění 44 m, poté se postupně opracování obrobené plochy zhoršovalo až na  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$  po obrobení 60 m. Při zkoušce č. 2, měření č. 1 a č. 2 byla plocha opticky doškrabaná, nebyla jednolitá.

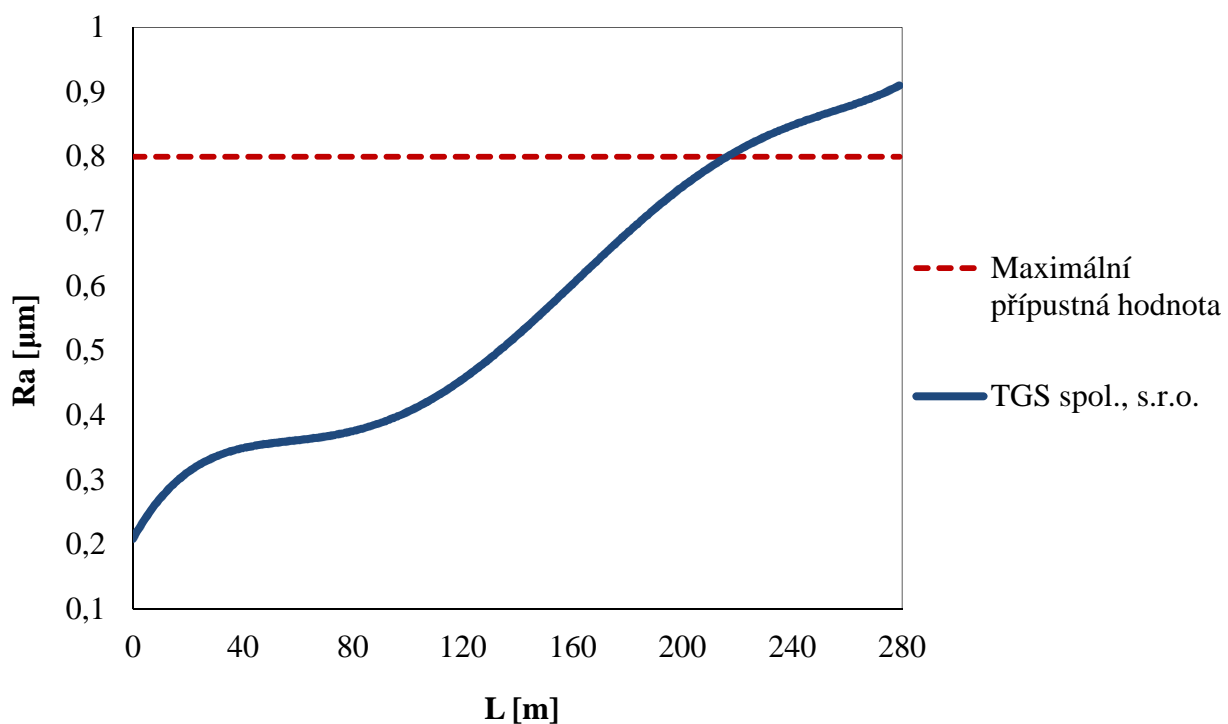
#### 4.7 Finální zhodnocení zkoušených nástrojů

Nejllepších výsledků dosáhl nástroj firmy Sumitomo od dodavatele firmy TGS spol., s.r.o. a to z důvodů:

- dostatečná jakost povrchu  $R_a$  v rozmezí  $0,3 \div 0,4 \mu\text{m}$ ,
- mírného opotřebení VBD nastává po obrobení 96 m pracovní dráhy s jakostí povrchu  $R_a = 0,4 \div 0,7 \mu\text{m}$ .
- výrazné opotřebení VBD nastává po obrábění 188 m pracovní dráhy s jakostí povrchu  $R_a = 0,6 \div 0,9 \mu\text{m}$ .



Obr. 23 Znáznornění experimentálních zkoušek nástrojů v závislosti jakosti povrchu  $R_a$  na pracovní dráze  $L$ .



Obr. 24 Znáznornění závislosti jakosti povrchu  $R_a$  na pracovní dráze  $L$  nástroje firmy TGS spol., s.r.o. po překročení maximální přípustné hodnoty.

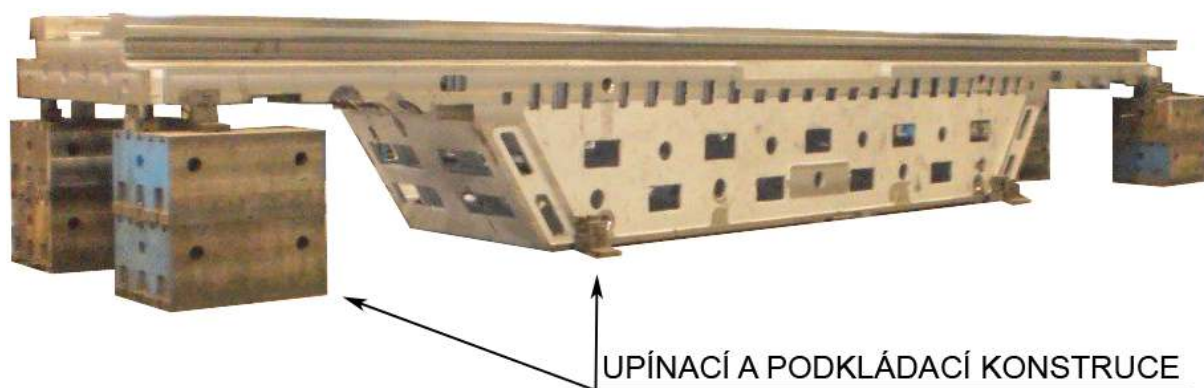
## 5 FINÁLNÍ ZHOTOVENÍ PŘESNÝCH PLOCH

### 5.1 Ustavení obrobku

Velký důraz je nutné dbát na ustavení obráběné součásti příčníc na pracovní stůl stroje FRUQ 400 - VR/24. Příčník je relativně velkých rozměrů (9 900 x 1 540 x 1 340 mm) a je obtížné s ním manipulovat. Při obrábění je příčník ustavován do 4 různých poloh, z toho 2 polohy jsou využívány pro výrobu přesných hydrostatických ploch (viz. tab. 3.9). Pro manipulaci a ustavení obrobku je využit mostový jeřáb, který je součástí firmy TOS Kuřim, a.s.

Následně je důležité v určitých polohách příčník dobře ustavit, vypodložit a vyrovnat. K vypodložení součásti je použito konstrukcí, kterých jsou součástí stroje a na kterých jsou pevně připevněny ocelové bloky. Tyto bloky jsou přebroušeny do roviny, aby se dosáhlo největší možné přesnosti.

Pro vyrovnání součásti na pracovním stole je využito měření pomocí dotykového úchylkoměru, který je namontován na vřetení obráběcího stroje (viz. obr. 28) . Měření je prováděno po krocích v intervalu 250 mm. Dle naměřených hodnot je vyrovnání příčníku upraveno a korekce dle měření jsou uloženy do programu stroje.



Obr. 25 Ustavení příčníku v poloze půdorysu.



Obr. 26 Ustavení konců příčníku v poloze půdorysu.





Obr. 27 Upnutí a ustavení příčnicku v poloze R1.



Obr. 28 Měření vyrovnaní příčnicku.

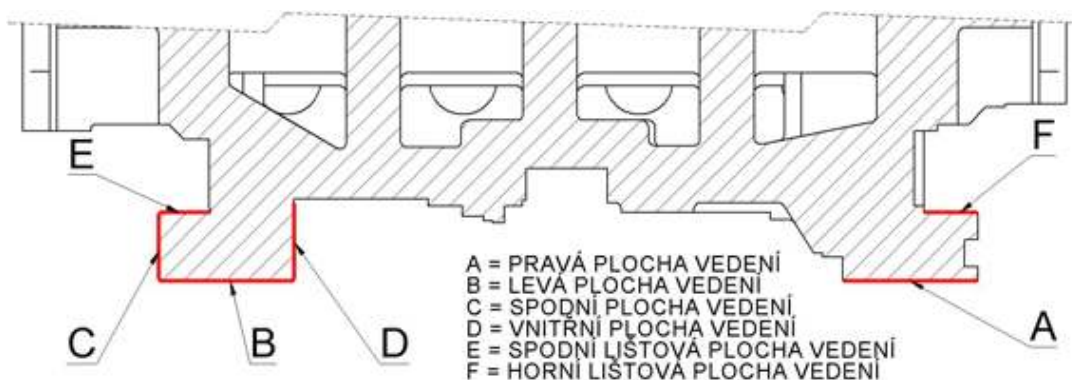
## 5.2 Zhotovení přesných ploch

Přesné plochy hydrostatického vedení jsou vyrobeny dle výrobního postupu dle kapitoly 3.

K dokončení přesných ploch bylo využito CBN fréz firmy TGS spol., s.r.o. za těchto řezných podmínek:

Tab. 5.1 Řezné podmínky dokončování přesných ploch hydrostatického vedení.

Druh plochy	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]
A	1 200	1 530	0,05	0,02	200,2
B	1 200	1 530	0,05	0,02	200,2
C	1 200	1 910	0,05	0,02	100,2
D	920	950	0,05	0,02	120,1
E	1 200	1 530	0,05	0,02	75
F	1 200	1 530	0,05	0,02	80



Obr. 29 Obráběné plochy hydrostatického vedení.



### 5.3 Měření obrobených ploch

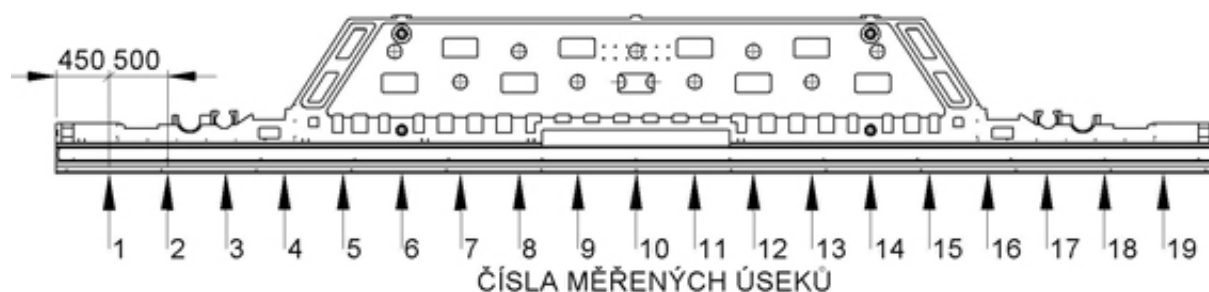
Plochy hydrostatického vedení jsou v průběhu obrábění až do finálního zhotovení měřeny dle jakosti povrchu Ra, rovinnosti a rovnoběžnosti.

#### 5.3.1 Měření jakosti struktury povrchu přesných ploch

Všechny plochy hydrostatického vedení jsou měřeny v 19 úsecích vzdálených od sebe 500 mm. Parametry Ra povrchu příčnicku jsou měřeny přenosným drsnoměrem TR – 100 (viz. obr. 30). Detailnější parametry drsnoměru jsou uvedeny v příloze 11.



Obr. 30 Drsnoměr TR - 100. [7]



Obr. 31 Vizualizace měřených úseků ploch hydrostatického vedení.

Po finálním obrobení ploch byly naměřeny v jednotlivých úsecích tyto parametry Ra:

Tab. 5.2 Jakost struktury povrchu Ra hotových ploch hydrostatického vedení.

Číslo měř.	Ra plochy A [μm]	Ra plochy B [μm]	Ra plochy C [μm]	Ra plochy D [μm]	Ra plochy E [μm]	Ra plochy F [μm]
1	0,43	0,48	0,52	0,51	0,48	0,49
2	0,48	0,51	0,52	0,48	0,49	0,48
3	0,62	0,59	0,57	0,60	0,55	0,59
4	0,51	0,55	0,55	0,58	0,59	0,55
5	0,48	0,49	0,51	0,55	0,58	0,51
6	0,54	0,59	0,61	0,61	0,64	0,58
7	0,63	0,66	0,67	0,62	0,67	0,65
8	0,71	0,69	0,67	0,63	0,69	0,70

Číslo měř.	Ra plochy A [μm]	Ra plochy B [μm]	Ra plochy C [μm]	Ra plochy D [μm]	Ra plochy E [μm]	Ra plochy F [μm]
9	0,55	0,60	0,66	0,61	0,66	0,63
10	0,48	0,52	0,55	0,56	0,54	0,49
11	0,42	0,55	0,49	0,51	0,49	0,45
12	0,47	0,48	0,49	0,51	0,45	0,45
13	0,53	0,52	0,50	0,49	0,51	0,51
14	0,58	0,52	0,49	0,49	0,51	0,52
15	0,55	0,55	0,58	0,59	0,52	0,58
16	0,49	0,48	0,55	0,51	0,58	0,52
17	0,51	0,47	0,54	0,48	0,52	0,52
18	0,58	0,51	0,53	0,48	0,55	0,58
19	0,48	0,52	0,49	0,49	0,59	0,51

Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí 0,3 μm. To je způsobeno drobnou odlišností struktury materiálu v určitých místech příčnicku.

Pro dokonalejší názornost a vysoký počet měření je provedena statistická interpretace veličiny jakosti struktury povrchu Ra dle následujících bodů:

- střední hodnota,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad (23)$$

kde:  $\bar{x}$  [μm] - střední hodnota měřených veličin,  
 $n$  [-] - počet měření,  
 $x_i$  [μm] - měřená hodnota.

- odhad směrodatné odchylky,

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2} \quad (24)$$

kde:  $s$  [μm] - odhad směrodatné odchylky.

- meze konfidenčních intervalů střední hodnoty,

$$x_{D2} = \bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (25)$$

$$x_{H2} = \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (26)$$

kde:  $x_{D2}$  [μm] - dolní mez konfidenčního intervalu,

$x_{H2}$  [ $\mu\text{m}$ ] - horní mez konfidenčního intervalu,

$1 - \alpha$  [-] - konfidenční úroveň = 0,95.

- velikost dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty:

$$I_{\bar{x}2} = x_{H2} - x_{D2} \quad (27)$$

kde:  $I_{\bar{x}2}$  [ $\mu\text{m}$ ] - velikost dvoustranného konfidenčního intervalu.

- meze statistického tolerančního intervalu:

$$L_{i2} = \bar{x} - k_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s \quad (28)$$

$$L_{s2} = \bar{x} + k_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s \quad (29)$$

kde:  $L_{i2}$  [ $\mu\text{m}$ ] - dolní mez statického tolerančního intervalu,

$L_{s2}$  [ $\mu\text{m}$ ] - horní mez konfidenčního intervalu,

$k$  [-] - součinitel pro stanovení statistického tol. intervalu,

$p$  [-] - podíl souboru = 0,90.

- velikost dvoustranného statistického tolerančního intervalu:

$$I_2 = L_{s2} - L_{i2} \quad (30)$$

kde:  $I_2$  [ $\mu\text{m}$ ] - velikost dvoustranného statistického tol. intervalu.

Vypočtené hodnoty statistické interpretace veličiny jakosti struktury povrchu  $R_a$  jsou uvedeny v tab. 5.3. Statistické veličiny jsou vypočteny dohromady pro plochy, které byly vytvořeny za stejných řezných podmínek a stejným nástrojem, tj. plocha A + B, plocha C, plocha D a plocha E + F.

Tab. 5.3 Statistická interpretace veličiny jakosti struktury povrchu  $R_a$  ploch hydrostatického vedení.

Parametry	Plochy A + B	Plocha C	Plocha D	Plochy E + F
<b>n [-]</b>	38	19	19	38
<b><math>\bar{x}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,53	0,55	0,54	0,55
<b>s [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,067	0,061	0,055	0,067
<b><math>x_{D2}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,513	0,523	0,516	0,529
<b><math>x_{H2}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,557	0,581	0,569	0,572
<b><math>I_{\bar{x}2}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,044	0,058	0,053	0,044
<b><math>L_{i2}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,396	0,410	0,413	0,412
<b><math>L_{s2}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,673	0,694	0,671	0,689
<b><math>I_2</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,277	0,285	0,257	0,278

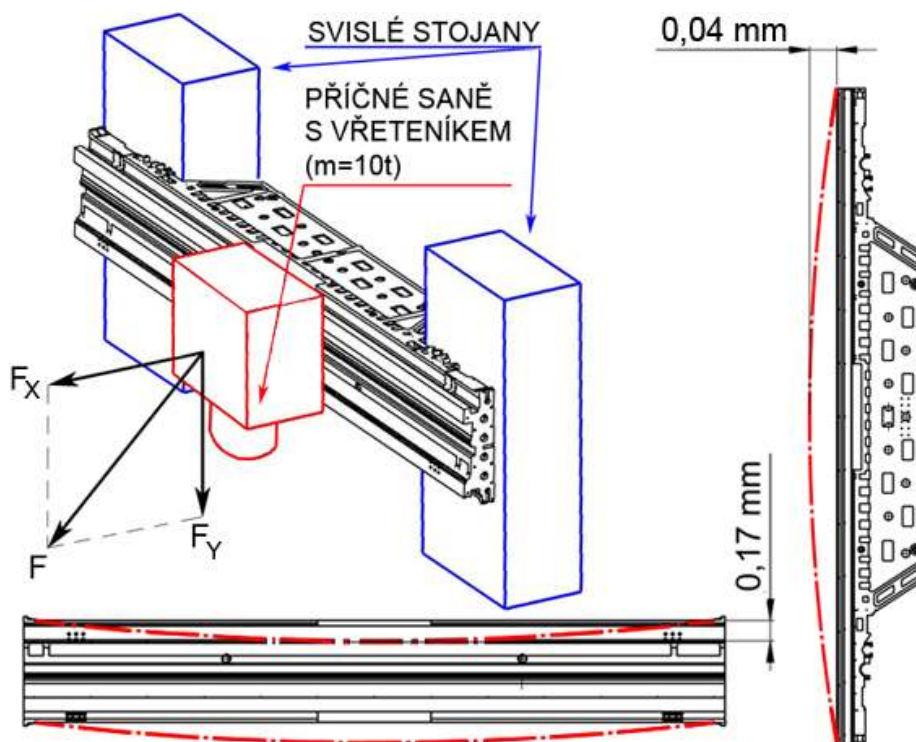
### 5.3.2 Měření rovinnosti vodících ploch

Měření rovinnosti vodících ploch je prováděno za pomoci měřicího přístroje Autocollimator DA400 (viz. obr. 32).



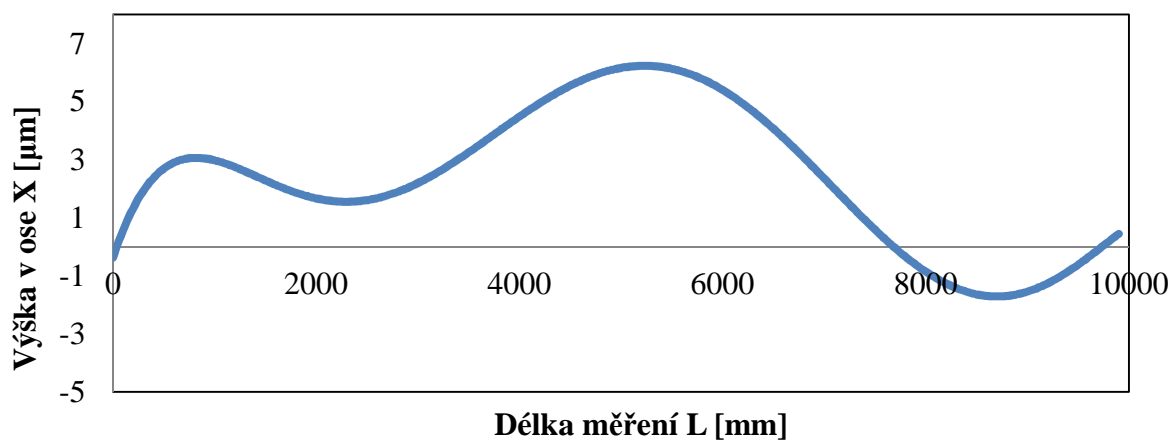
Obr. 32 Autocollimator DA400.

Při měření rovinnosti vodících ploch, ale také hlavně při frézování, je nutné počítat s prohnutím příčnicku v namontovaném stavu na svislých stojanech stroje po zatížení příčnými saněmi s vřeteníkem o hmotnosti 10 t, jinými slovy je příčník namáhán na krut. Pro splnění podmínky rovinných vodících ploch po zatížení se vodící plochy frézují v obloukovitém tvaru o maximální výšce oblouku 0,04 mm a 0,17 mm (viz. obr. 33). Tyto rozměry jsou dány dle empirických vztahů a zkušeností z předešlých obrábění podobných součástí firmy TOS Kuřim, a.s.

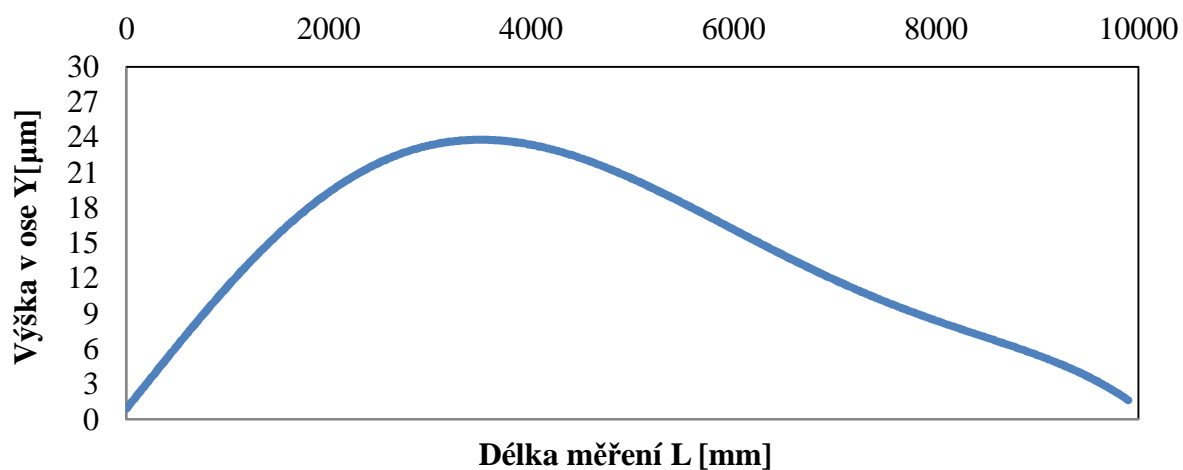


Obr. 33 Znázornění prohnutí příčnicku po zatížení.

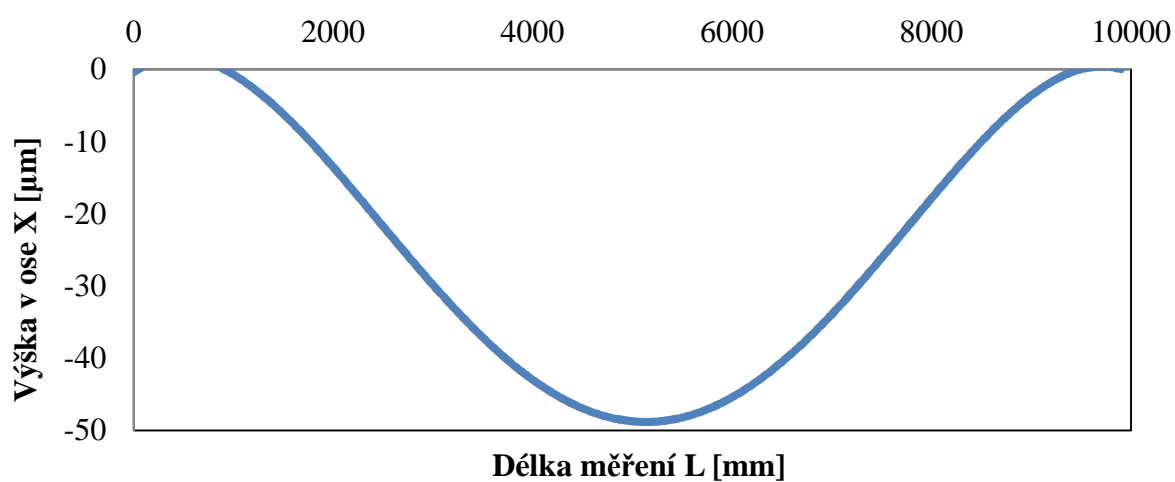
Naměřené hodnoty rovinnosti vodících ploch A a B jsou znázorněny na obr. 34 ÷ obr. 37.



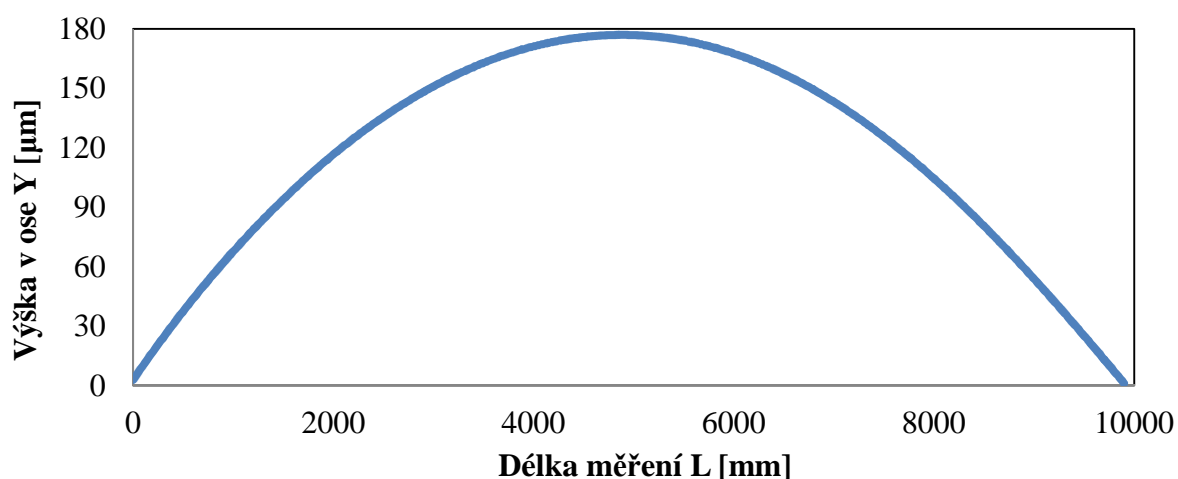
Obr. 34 Znázornění zaoblení frézované plochy A v ose X.



Obr. 35 Znázornění zaoblení frézované plochy A v ose Y.



Obr. 36 Znázornění zaoblení frézované plochy B v ose X.



Obr. 37 Znázornění zaoblení frézované plochy B v ose Y.

### 5.3.3 Měření rovnoběžnosti vodících ploch

Měření rovnoběžnosti ploch je prováděno za pomoci mikrometru ve stejných úsecích jako měření rovinnosti plochy a jakosti povrchu  $R_a$ , tedy v úsecích vzdálených od sebe 500 mm. Je nutné, aby naměřené hodnoty nepřesáhly toleranci 0,01 mm dle výkresu příčnicku (viz. příloha 1).

Při změření větší naměřené hodnoty než je maximální hodnota daná tolerancí je nutné, aby byly určité měřené plochy hydrostatického vedení znovu obrobena za stejných řezných podmínek, ale s maximální šířkou záběru  $a_p = 0,02$  mm.

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výrobu ploch hydrostatického vedení příčnicku frézováním je nutné zhodnotit z ekonomického hlediska a následně porovnat s kooperací broušením.

Ekonomické zhodnocení je řešeno v následujících kapitolách.

### 6.1 Náklady na nástroje

Náklady na nástroje je nutno uvést do ekonomického zhodnocení, ale nelze je počítat do porovnání s kooperací broušením, protože nástroje jsou používány pro více operací než jen pro výrobu ploch hydrostatického vedení, ale také pro výrobu více různých součástí (příčnicků a loží).

Náklady hrubovacích nástrojů jsou uvedeny vč. upínačů a VBD v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Náklady hrubovacích nástrojů.

Druh nástroje	Označení nástroje	Cena vč. DPH [Kč]
Čelní fréza Walter	F2044.0.60.063.200.15	39 950
Čelní fréza Ingersoll	7F2K200 R00	28 200
Kotoučová fréza Walter	F2252 - 100092	55 800
<b>Celková cena</b>		<b>123 950</b>

Tab. 6.2 Náklady dokončovacích nástrojů.

Druh nástroje	Označení nástroje	Cena vč. DPH [Kč]
Frézovací hlava Ø200 mm	FMU4200 R-S SPC	47 000
Frézovací hlava Ø250 mm	FMU4250 R-S SPC	53 000
Frézovací hlava Ø250 mm SPC	FMU4250 R-S SPC	59 000
Frézovací hlava Ø330 mm SPC	FMU4330 R-S SPC	150 000
VBD – 125 ks	SNEW1203ADTR BN700	275 424
Upínací trn – 2 ks	SK50 DIN69871	7 764
Upínací trn prodloužený – 2 ks	SK50 DIN69871 - A	10 107
<b>Celková cena</b>		<b>602 295</b>

### 6.2 Porovnání nákladů na výrobu frézováním s náklady v kooperaci broušením

Do výrobních nákladů je započítán pouze výrobní čas dokončování přesných ploch hydrostatického vedení a je porovnáván s náklady kooperace broušením. Hodnoty nákladů kooperace jsou převzaty z tvarově a rozměrově podobného příčnicku, který byl řešen variantou kooperace v Plzni.

Výroba je řešena pro dvousměnný provoz s počtem 2 operátorů CNC stroje, kteří zároveň plní funkci ustavování, upínání a kontroly příčnicku.

Náklady na výrobu jsou dány firmou TOS Kuřim, a.s. na 1 500 Kč·hod<sup>-1</sup>. Náklady zahrnují náklady na pracovníka, náklady na stroj, náklady na spotřebovanou energii a náklady na pracovní a skladový prostor.

Tab. 6.3 Porovnání nákladů dokončování frézováním s náklady kooperace broušením.

Náklady na dokončování frézováním [Kč]	Náklady na kooperaci broušením vč. dopravy [Kč]
<b>42 375</b>	<b>97 062</b>

Náklady na dokončování frézováním jsou sníženy oproti nákladům na kooperaci broušením o 54 687 Kč.

Dle provedených výpočtů je vlastní výroba přesných ploch hydrostatického vedení výhodnější a odpadájí problémy týkající se kooperace, dopravy a termínu dodání.



## DISKUZE

Dokončování ploch frézováním je v poslední době častějším způsobem řešení dokončovacích operací rovinných ploch. Jedná se o progresivní moderní způsob obrábění, kde je snahou uplatnit co nejmenší možný počet strojů, obráběcích a upínacích operací a omezit maximum možných kooperací. Omezením těchto faktorů je ve většině případů výrobní operace ekonomicky a časově příznivější.

Z hlediska nástrojů není v dnešní době dokončování ploch frézováním nijak náročné. Řezné elementy nástroje jsou z hlediska kvality řezných vlastností a trvanlivosti břitu v širokém spektru různých tvarových variant, různých materiálů a povlaků, které tyto vlastnosti pozitivně splňují. Tyto řezné elementy jsou nadále vyvíjeny tak, aby splňovaly podmínky trvanlivosti a kvality obrábění ještě efektivněji a kvalitněji. Ale i přes všechny tyto poznatky je velice důležité v takovém případě brát velký důraz na tuhost celé obráběcí soustavy, tj. stroj - nástroj - upínač - obrobek.

Při řešení a následné výrobě součásti příčnick bylo nutné počítat s možnými problémy, jako jsou například hmotnost, která v určitých vyvýšených částech obrobku, dokáže polotovár mírně ohnout, tj. vyřešeno podložením. Další možný problém u takto objemné součásti je materiál, který mění svůj objem v závislosti na teplotě, tzn. navrácení původní teploty a nové ustavení polotovaru na upínací stůl.

Pro výrobu z důvodu vlastní konstrukce součásti příčnick bylo nutné určité nástroje koupit a nechat navrhnout se speciálním tvarem a rozměry (s konstrukcí nástrojových kazet na horní ploše frézy), čímž se předpokládaná cena výroby zvýšila. Tato cena nelze započítat do ekonomického zhodnocení a porovnání s variantou kooperace broušením z důvodu dalšího použití na jiné projekty. Tímto se tyto náklady za nástroje spolu s dalšími operacemi dokončování frézováním vrátí.

Dokončování ploch frézováním součástí objemných rozměrů, jako je součást příčnick, je firma TOS Kuřim - OS, a.s. jedinečná. V závislosti na objemu projektu dokončování přesných ploch frézováním přinese úspory v řádu statisíců korun.

## ZÁVĚR

Cílem a úkolem tématu „Dokončování přesných ploch frézováním“ bylo navržení a řešení technologie výroby přesných ploch hydrostatického vedení součásti příčnick v podmínkách firmy TOS Kuřim - OS, a.s.

V problematice daného tématu je převážně řešena operace jemného frézování přesných ploch hydrostatického vedení, při které je nutno dosáhnout jakosti struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ .

Výsledky kompletního řešení jsou shrnuty v těchto následujících bodech:

- Pro výrobu ploch hydrostatického vedení je navržen technologický postup na obráběcím centru FRUQ 400 - VR/24 ve dvou odlišných polohách obrobku od hrubovacích operací až po finální dokončování.
- Pro dosažení jakosti struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$  jsou experimentálně zkoušeny nástroje od 6 odlišných dodavatelů a jsou porovnávány za určitých řezných podmínek.
- K navrženému technologickému postupu jsou navrženy vhodné nástroje firmy TGS spol., s.r.o., které dosahovaly nejlepších a nejefektivnějších výsledků jakosti struktury povrchu a splňovaly podmínky jakosti struktury povrchu  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ .
- Pro stanovení ekonomického hodnocení je nutno znát výrobní časy jednotlivých operací pro určité nástroje, které jsou uvedeny v operačních návodkách každé výrobní operace.
- V průběhu obrábění, tak i po finálním zhotovení jsou kontrolovány výsledky měřením jakosti struktury povrchu, rovinnosti a rovnoběžnosti ploch hydrostatického vedení příčnicku a porovnávány dle teoretických hodnot.
- Na závěr je výroba posouzena z ekonomického hlediska a porovnána s kooperací broušením ploch hydrostatického vedení příčnicku včetně dopravy.

Celá práce je směřována tak, aby splňovala podmínky dané pro úspěšné dokončení ploch hydrostatického vedení a splňovala efektivnější výrobu, než je výroba s kooperací broušením.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. SANDVICK COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 s. ISBN 91-972-2994-6.
2. KOCMAN, Karel. *Frézování*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1999, 191 s. ISBN 80-214-1425-1.
3. KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
4. *General catalogue*. WALTER GB LTD England. Březen 2012. 6199971-EN.
5. *Ingersoll frass*. INGERSOLL WERKZEUGE GmbH Germany. Srpen 2011. 7850883.
6. PODRÁBSKÝ T. – POSPÍŠILOVÁ S.: Struktura a vlastnosti grafitických litin [online]. [vid. 12. února 2012]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php>
7. PROINEX INSTRUMENT, s.r.o. *Digitální drsnoměr TR-100* [online]. [vid. 5. května 2012]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/digitalni-drsnomer-tr-100.html>
8. TGS SPOL, s.r.o. *Performance cutting tools* [online]. [vid. 12. března 2012]. Dostupné z: <http://tgs.cz/cs/download/Czech/Sumitomo.pdf>
9. TOS KUŘIM-OS, a.s. *Portálové stroje* [online]. [vid. 5. dubna 2012]. Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/download/Katalogy/portalove-stroje-ACRP-web.pdf>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>HB</b>	[-]	tvrdost dle Brinella
<b>VBD</b>	[-]	vyměnitelná břitová destička
<b>CBN</b>	[-]	kubický nitrid bóru

Symbol	Jednotka	Popis
<b>A</b>	[%]	tažnost
<b>A<sub>Di</sub></b>	[mm]	jmenovitý průřez třísky
<b>C<sub>Fe</sub></b>	[-]	materiálová konstanta pro výpočet síly F <sub>c</sub>
<b>D</b>	[mm]	průměr frézy
<b>E</b>	[MPa]	modul pružnosti v tahu
<b>F<sub>ci</sub></b>	[N]	řezná síla
<b>F<sub>cNi</sub></b>	[N]	kolmá řezná síla
<b>F<sub>fi</sub></b>	[N]	posuvová síla
<b>F<sub>fNi</sub></b>	[N]	kolmá posuvová síla
<b>F<sub>H</sub></b>	[N]	horizontální síla
<b>F<sub>V</sub></b>	[N]	vertikální síla
<b>F<sub>x</sub></b>	[N]	axiální síla
<b>F<sub>y</sub></b>	[N]	radiální síla
<b>F<sub>z</sub></b>	[N]	tangenciální síla
<b>I<sub>x2</sub></b>	[μm]	velikost dvoustr. konfidenčního intervalu
<b>I<sub>2</sub></b>	[μm]	velikost dvoustr. statistického tol. intervalu
<b>K</b>	[cm <sup>3</sup> ·kW <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	objemový součinitel
<b>L</b>	[mm]	celková délka obrábění
<b>L<sub>i2</sub></b>	[μm]	dolní mez statického tolerančního intervalu
<b>L<sub>s2</sub></b>	[μm]	horní mez konfidenčního intervalu
<b>L<sub>RX</sub></b>	[mm]	délka rychloposuvu stroje v ose X
<b>L<sub>RY</sub></b>	[mm]	délka rychloposuvu stroje v ose Y

Symbol	Jednotka	Popis
$L_{RZ}$	[mm]	délka rychloposuvu stroje v ose Z
$M_k$	[N·mm]	krouticí moment všech zubů
$P_{ef}$	[kW]	efektivní řezný výkon
$Q$	[cm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	úběr frézovaného materiálu
$R_a$	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
$R_m$	[MPa]	pevnost v tahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
$T_{opt}$	[min]	trvanlivost nástroje
$V$	[cm <sup>3</sup> ]	objem odebraného materiálu
$a_e$	[mm]	šířka frézování
$a_p$	[mm]	šířka záběru ostří
$c$	[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	měrné teplo
$f_z$	[mm]	posuv na zub
$f_{RX}$	[mm]	posuv rychloposuvu v ose X
$f_{RY}$	[mm]	posuv rychloposuvu v ose Y
$f_{RZ}$	[mm]	posuv rychloposuvu v ose Z
$h_i$	[mm]	velikost jmenovité tloušťky třísky
$k$	[-]	součinitel pro stanovení statist. tol. intervalu
$k_{ci}$	[N]	měrná řezná síla
$l$	[mm]	čistá délka obrábění
$l_n$	[mm]	délka náběhu nástroje
$l_p$	[mm]	délka přeběhu nástroje
$m$	[-]	exponent řezné rychlosti
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky stroje
$n_z$	[-]	počet zubů v současném záběru
$p$	[-]	podíl souboru
$s$	[μm]	odhad směrodatné odchylky
$t_A$	[min]	kusový strojní čas
$t_{AS}$	[min]	strojní čas

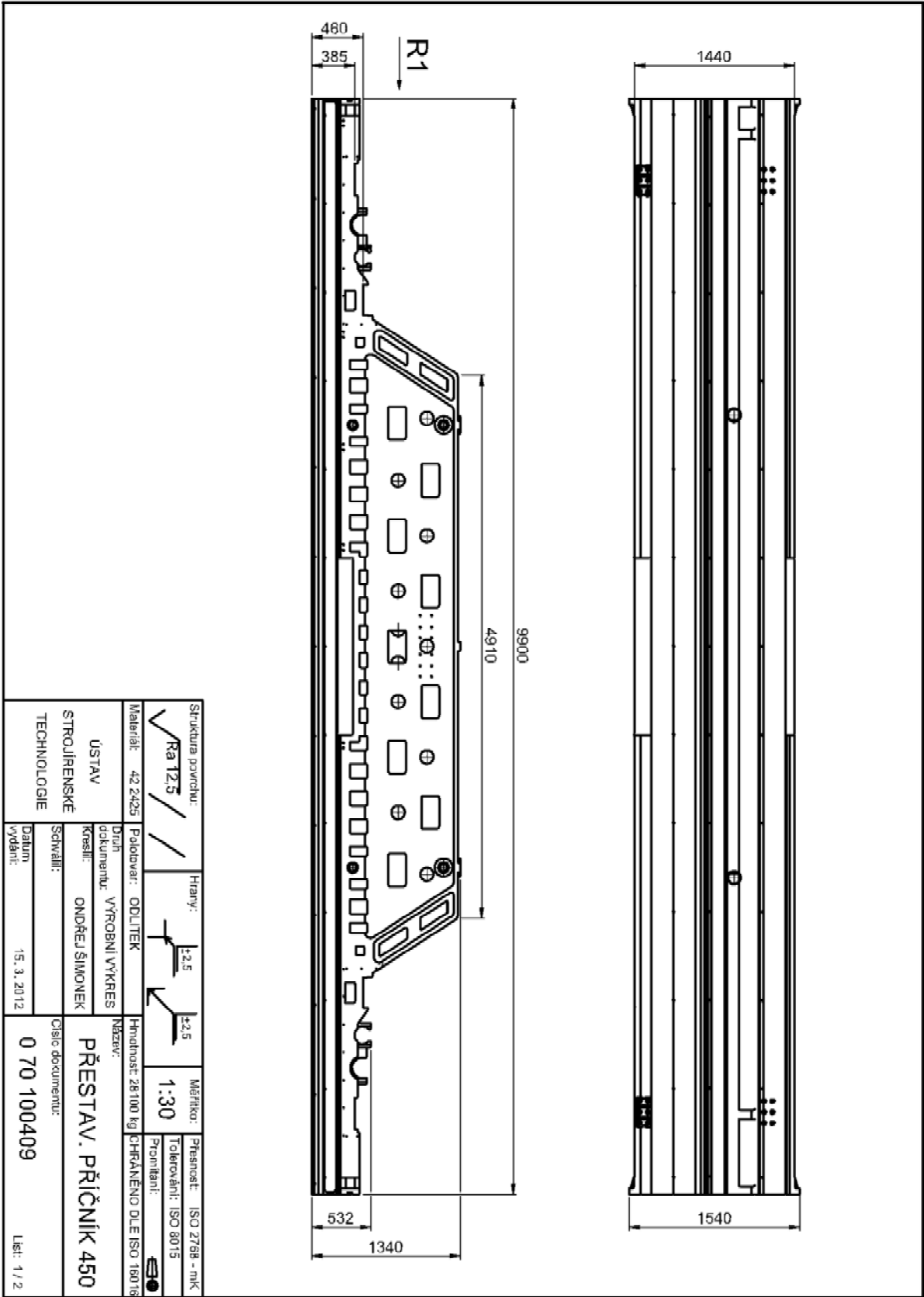
Symbol	Jednotka	Popis
$t_{AV}$	[min]	čas rychloposuvu stroje
$t_{AX}$	[min]	čas na výměnu a seřízení nástroje
$t_N$	[min]	čas vedlejší
$v_c$	$[m \cdot min^{-1}]$	řezná rychlost
$v_e$	$[m \cdot min^{-1}]$	výsledná rychlost obrábění
$v_f$	$[mm \cdot min^{-1}]$	posuvová rychlost
$x$	[mm]	exponent vlivu šířky záběru $a_p$
$\bar{x}$	$[\mu m]$	střední hodnota měřených veličin
$x_{D2}$	$[\mu m]$	dolní mez konfidenčního intervalu
$x_{H2}$	$[\mu m]$	horní mez konfidenčního intervalu
$x_i$	$[\mu m]$	měřená hodnota
$z$	[-]	počet zubů frézy
$\kappa_r$	$[^\circ]$	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.
$\lambda$	[-]	poměr čistého času frézování k času hlavnímu
$\rho$	$[\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}]$	měrný odpor
$\varsigma$	$[g \cdot cm^{-3}]$	měrná hmotnost
$\sigma_o$	[MPa]	pevnost v ohybu
$\sigma_p$	[MPa]	pevnost v tlaku
$\tau_s$	[MPa]	pevnost ve stříhu
$\varphi$	$[^\circ]$	úhel posuvového pohybu
$\varphi_{max}$	$[^\circ]$	maximální úhel zubů v záběru

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Výrobní výkres příčnicku - zjednodušený
Příloha 2	Výrobní výkres nástavce
Příloha 3	Výrobní výkres nástrčného trnu D60 mm SK50 DIN 69871
Příloha 4	Výrobní výkres nástrčného trnu D60 mm SK50 DIN 69871-A
Příloha 5	Katalogové údaje fréz FMU 4000
Příloha 6	Operační návodka výrobní operace 3/3
Příloha 7	Operační návodka výrobní operace 6/6
Příloha 8	Operační návodka výrobní operace 7/7
Příloha 9	Operační návodka výrobní operace 9/9
Příloha 10	Operační návodka výrobní operace 11/11
Příloha 11	Katalogové údaje drsnoměru TR - 100
Příloha 12	Vyhodnocené údaje rovinnosti plochy A
Příloha 13	Vyhodnocené údaje rovinnosti plochy B

PŘÍLOHA 1 (1/2)

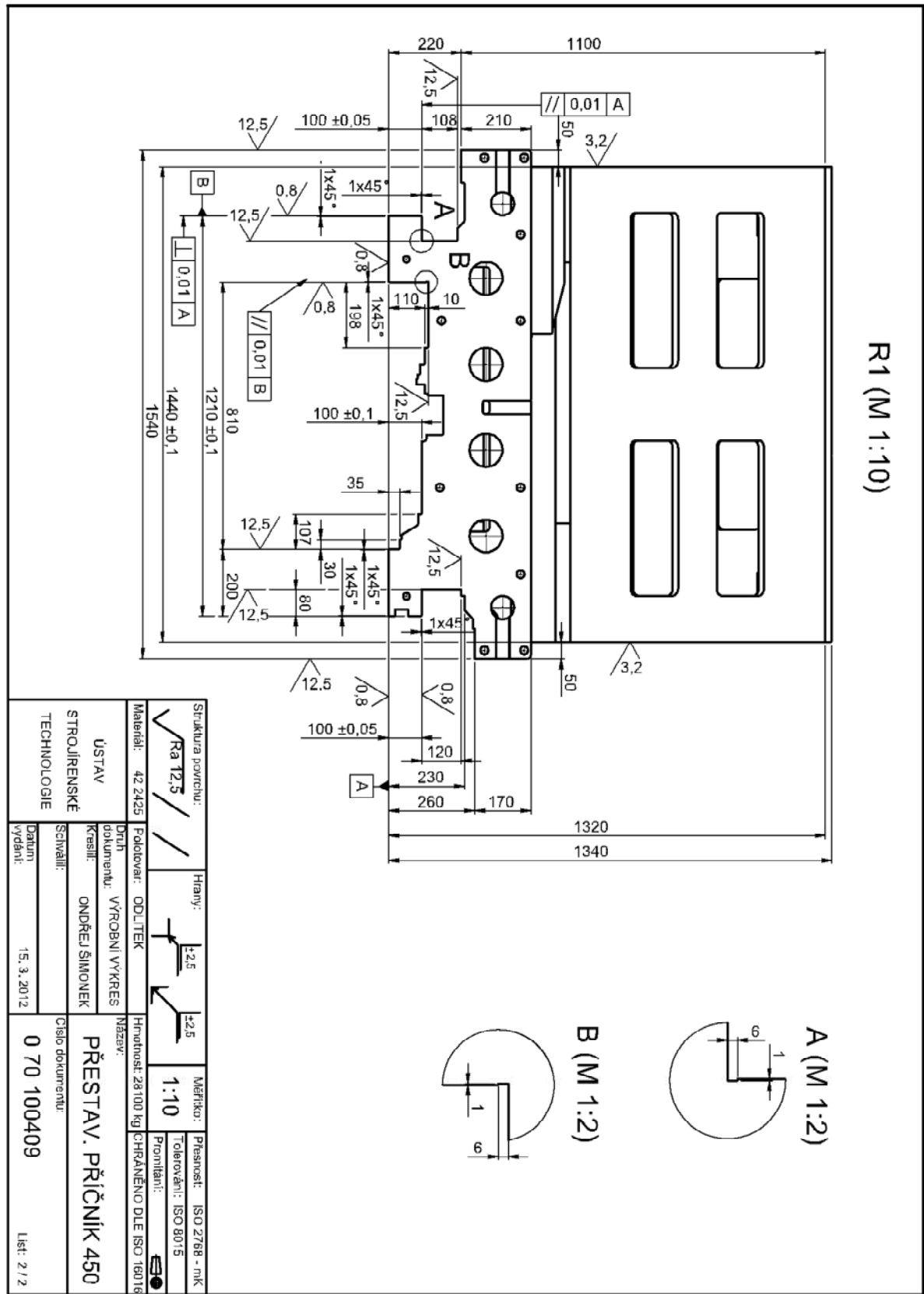
Výrobní výkres příčnicku – zjednodušený



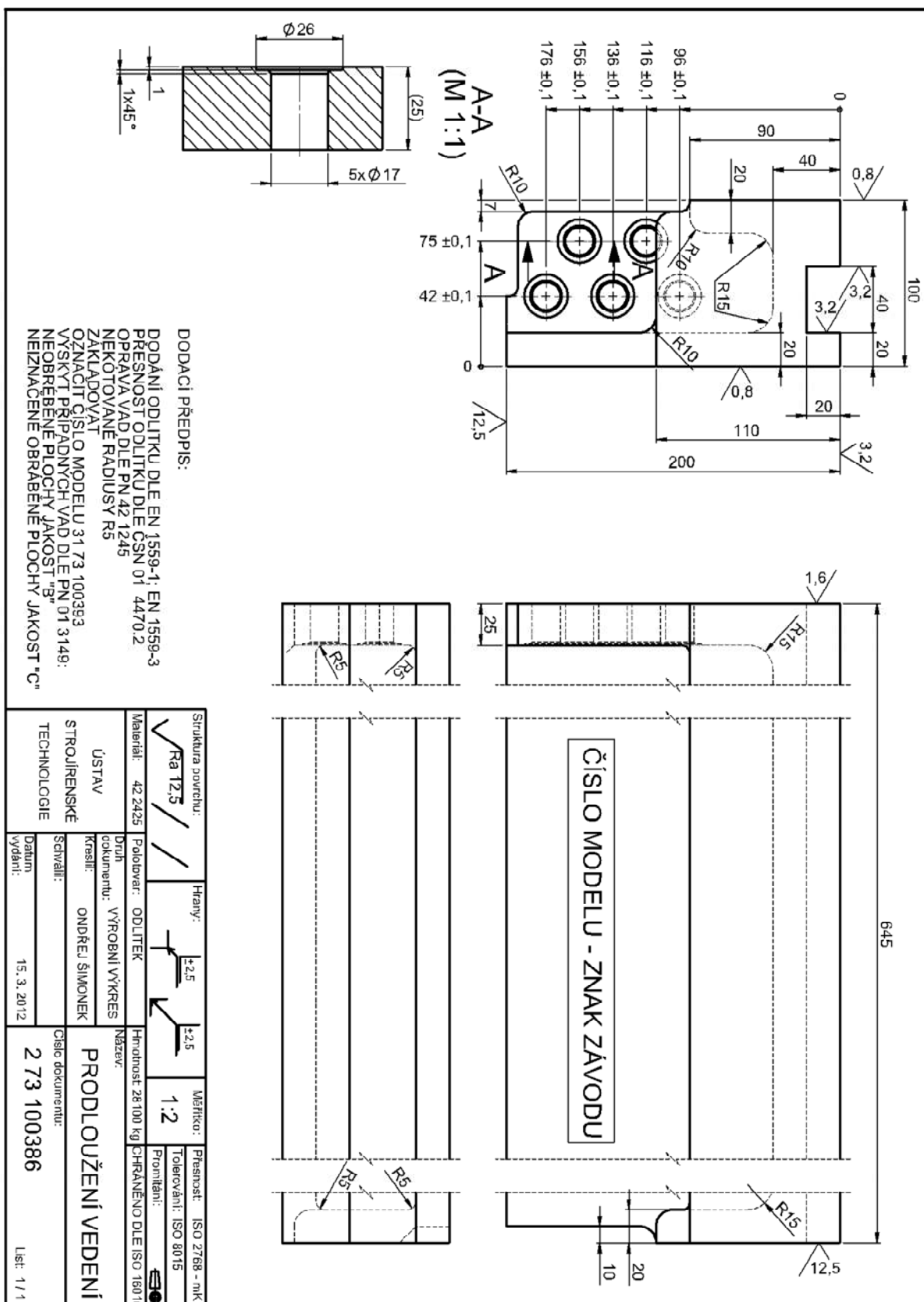


**PŘÍLOHA 1 (2/2)**

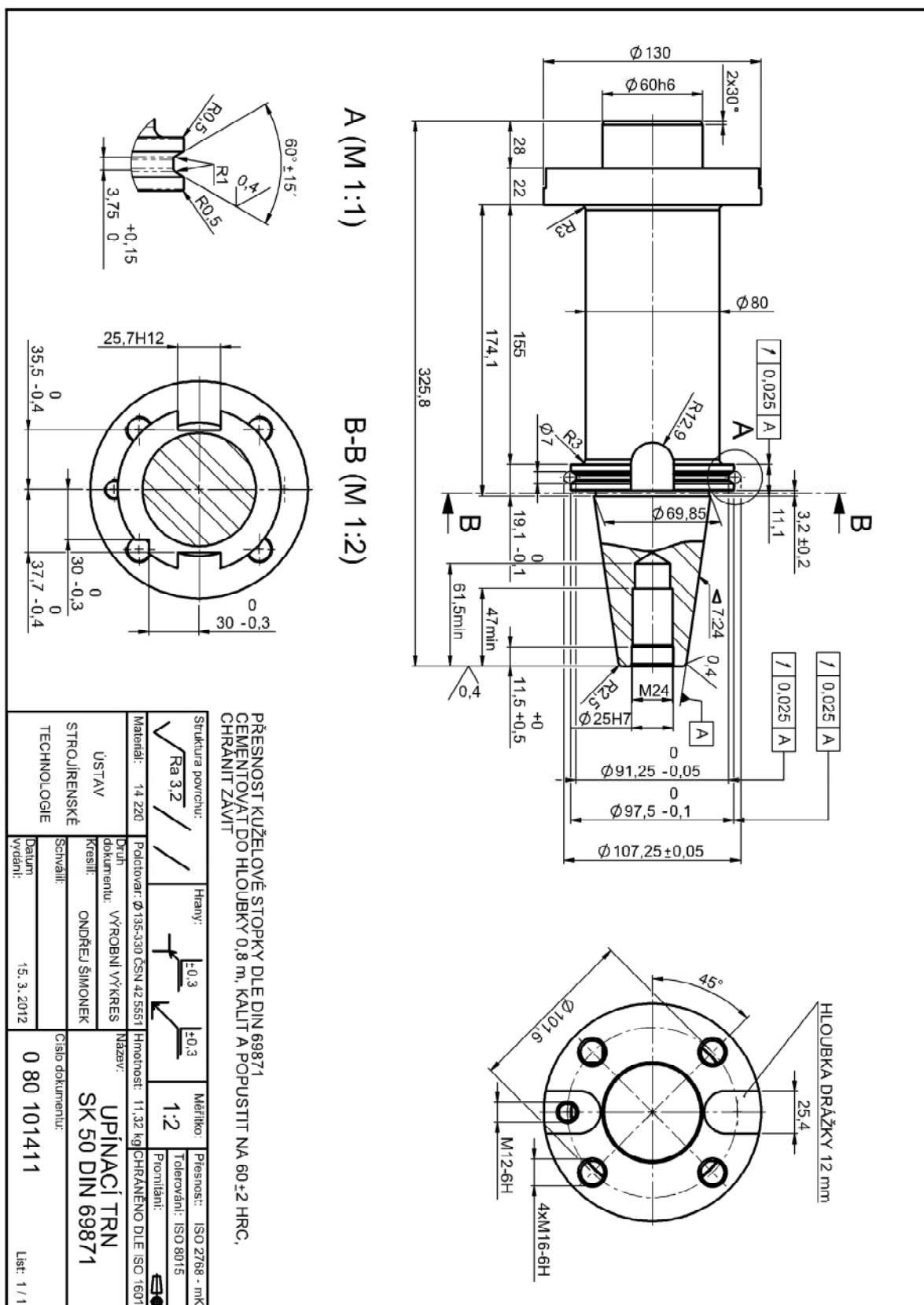
Výrobní výkres příčnicku – zjednodušený



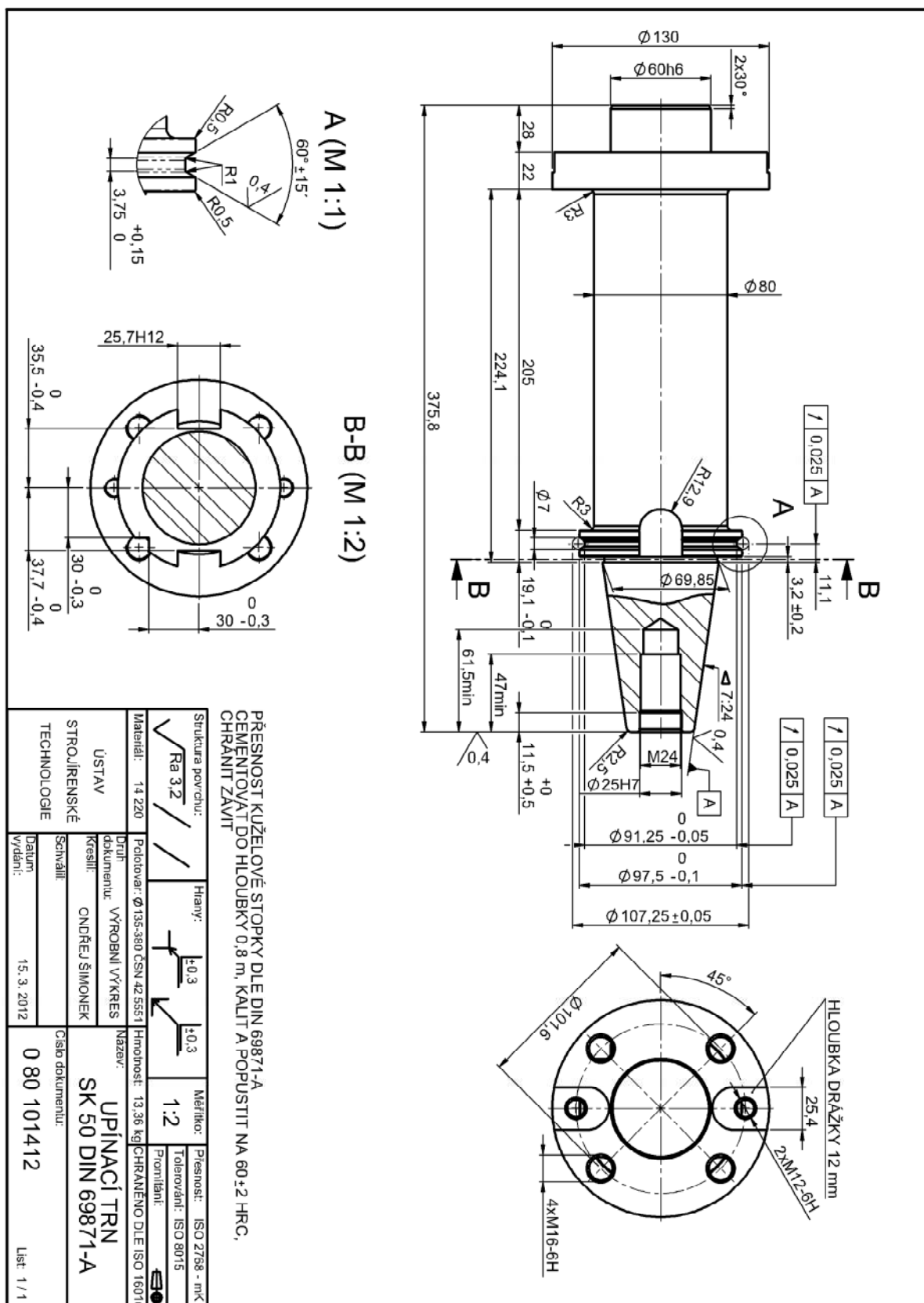
## Výrobní výkres nástavce



# Výrobní výkres nástrčného trnu D60 mm SK50 DIN 69871



### Výrobní výkres nástrčného trnu D60 mm SK50 DIN 69871-A



## PŘÍLOHA 5 (1/2)

Katalogové údaje fréz FMU 4000 (firma TGS spol., s.r.o.)

### SUMIBORON "BN Finish Mill"

## Typ FMU

### Vysokorychlostní dokončování litiny



#### ■ Charakteristiky

- Vysokorychlostní obrábění  $v_c = 1500$  m/min
- Vynikající drsnost povrchu  $R_z=3,2$  ( $R_a=1,0$ )
- Bezpečná konstrukce z hlediska odstředivé síly v podmínkách vysokorychlostního obrábění
- Házivost menší než  $10 \mu m$
- Snadná montáž s použitím seřizovací měrky
- Nižší provozní náklady díky použití ekonomické VBD

### SUMIBORON "BN Finish Mill"

#### ■ Použití

GG25~GG30 (HB200~250) - šedá litina s perlitickou strukturou a feritickou strukturou (HB130~160)  
Příklady použití: blok motoru, blok válců atd.

#### ■ Specifikace

Typ FMU:  $\phi 80 \sim \phi 315$  mm  
VBD: SNEW1203ADTR/L  
Typ pro nízkou řeznou sílu: SNEW1203ADTR/L-S

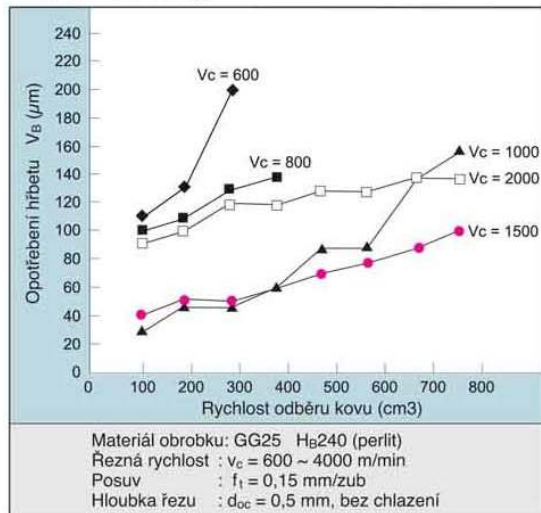
#### ■ Doporučené řezné podmínky

Rychlost:  $v_c = 800 \sim 2000$  m/min  
Posuv:  $f_1 = 0,1 \sim 0,3$  mm/zub  
Hloubka:  $d_{oc} = 0,5$  mm nebo méně  
Obrábění bez chlazení

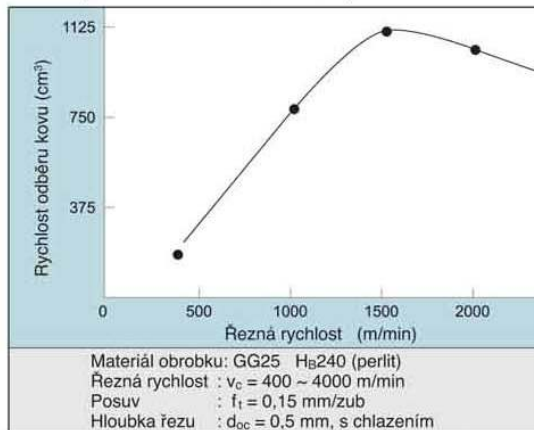


#### ■ Výkonnost

##### ● Životnost nástroje



##### ● Předpokládaná životnost nástroje



- Při frézování odlitků z kujné litiny a legované oceli nejsou dosahovány nejlepší výsledky.
- Je doporučováno obrábění bez chlazení. Obrábění s chlazením vede k vytlamování břitů v počátečních stádiích v důsledku trhlin vyvolaných tepelným pnutím.

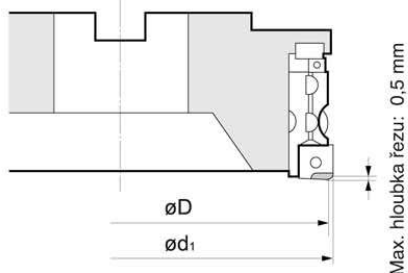
## PŘÍLOHA 5 (2/2)

Katalogové údaje fréz FMU 4000 (firma TGS spol., s.r.o.)

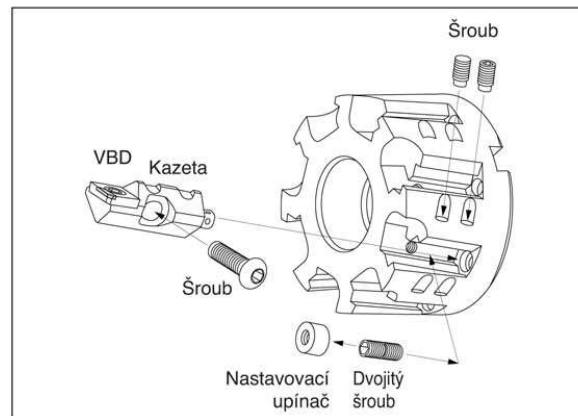
## SUMIBORON "BN Finish Mill" Typ FMU

### Specifikace

Úhel náběhu: 90°  
Axiální úhel hřbetu: + 8°  
Radiální úhel hřbetu: + 2°



### Konstrukce



### Těleso

Typ	Č. kat.	Sklad		Rozměry (mm)				Montáž				Počet zubů	Max. hloubka řezu	Hmotnost (kg)	Obr.
		R	L	Ø D	Ø d <sub>1</sub>	Ø d <sub>2</sub>	H	Ø d <sub>3</sub>	a	b	l <sub>1</sub>				
FMU 4000	FMU 4200 R-S			200	202,8	130	63	60	25,7	14,0	38	16	0,5	9,2	4.
	FMU 4250 R-S			250	252,8	130	63	60	25,7	14,0	38	20		14,3	

● = Na skladě  
○ = Dodávka na vyžádání

### VBD

Č. kat.	Sklad		Druh CBN	Obr.
	R	L		
SNEW 1203 ADT L/R	●	●	BN700	1
SNEW 1203 ADT L/R-S			BN700	2

● = Na skladě

### Kazeta

FMUU	BFTX0509N	FMUJ	P3	TRX20	1,8 x 45

### Náhradní díly

Šroub BH0620	Šroub BTD0609	Stavěcí objímka FMUE	Dvojitý šroub WB5-10	Klíč TH040	Klíč LH030	Klíč LH025

### Nastavovací sada



## PŘÍLOHA 6 (1/2)

Operační návodka výrobní operace 3/3

OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERACE 3/3)

Obráběcí stroj:	FRUQ 400 – VR/24
Název součásti:	Přestavný příčník 450
Polotovar:	Odlitek ČSN 42 2425

Nástroj		Upínací trn					VBD			Číslo nástr.
Fréza čelní hrubovací		F2044.0.60.063.200.15					P23522 WKP35			1
Fréza čelní hrubovací		7F2K200R00					YCE434001 2010			2
Kotoučová fréza		F2252 – 100092					MPMT120408 - F57			3
Č. op.	Druh operace	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$L$ [mm]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$t_{AS}$ [min]	$t_{AV}$ [mm]	Číslo nástr.
1	hrubování	180	290	10 127	0,35	5	200	9,977	0,558	1
2	hrubování	180	290	10 127	0,35	5	200	9,977	0,574	1
3	hrubování	180	290	10 127	0,35	5	108	9,977	0,640	1
4	hrubování	120	130	10 254	0,3	5,5	73	9,738	0,541	3
5	hrubování	120	130	10 254	0,3	5,5	123	9,738	0,646	3
6	hrubování	180	290	10 127	0,35	5	108	9,977	0,507	1
7	hrubování	180	290	10 127	0,35	1,7	108	9,977	0,640	1
8	hrubování	180	290	10 127	4	0,3	108	8,730	0,639	2
9	hrubování	120	130	10 254	0,3	5,5	80	9,738	0,534	3
10	hrubování	120	130	10 204	0,3	5,5	36,5	9,690	0,514	3

## Operační návodka výrobní operace 3/3

**OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERACE 3/3)**

<b>Obráběcí stroj:</b>	FRUQ 400 – VR/24
<b>Název součásti:</b>	Přestavný příčnick 450
<b>Polotovar:</b>	Odlitek ČSN 42 2425



## PŘÍLOHA 7

Operační návodka výrobní operace 6/6

OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERACE 6/6)										
Obráběcí stroj:		FRUQ 400 – VR/24								
Název součásti:		Přestavný příčník 450								
Polotovary:		Odlitek ČSN 42 2425								
Nástroj			Upínací trn				VBD			Číslo nástr.
Fréza čelní hrubovací			F2044.0.60.063.200.15				P23522 WKP35			1
Kotoučová fréza			F2252 – 100092				MPMT120408 - F57			3
Č. op.	Druh operace	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$L$ [mm]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$t_{AS}$ [min]	$t_{AV}$ [mm]	Číslo nástr.
1	hrubování	180	290	10 124	0,35	1	200	9,974	0,591	1
2	hrubování	180	290	10 124	0,35	1	200	9,974	0,640	1
3	hrubování	180	290	10 124	0,35	1	101	9,974	0,640	1
4	hrubování	120	130	10 250	0,3	0,5	75,5	9,734	0,642	3
5	hrubování	120	130	10 250	0,3	0,5	125,5	9,734	0,648	3
6	hrubování	120	130	10 250	0,3	0,5	80	9,734	0,682	3
$\Sigma t_{AS}$								59,13		
$\Sigma t_{AV}$										3,843

## PŘÍLOHA 8

Operační návodka výrobní operace 7/7

**OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERAČE 7/7)**

<b>Obráběcí stroj:</b>	FRUQ 400 – VR/24
<b>Název součásti:</b>	Přestavný příčník 450
<b>Polotovar:</b>	Odlitek ČSN 42 2425

Nástroj		Upínací trn				VBD				Číslo nástr.
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4200 R-S				SNEW 1203ADTR BN700				4
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4250 R-S				SNEW 1203ADTR BN700				5
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4250 R-S SPC				SNEW 1203ADTR BN700				6
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4330 R-S SPC				SNEW 1203ADTR BN700				7

Č. op.	Druh operace	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$L$ [mm]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$t_{AS}$ [min]	$t_{AV}$ [mm]	Číslo nástr.
1	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	201	6,637	0,593	5
2	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	200	6,637	0,652	5
3	Jemné fréz.	1 200	1 910	10 104	0,05	0,2	100,8	6,613	0,641	4
4	Jemné fréz.	920	950	10 234	0,05	0,2	120,6	8,618	0,645	7
5	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	75,6	6,637	0,643	6
6	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	80	6,637	0,672	6
$\Sigma t_{AS}$								41,78		
$\Sigma t_{AV}$								3,846		

## PŘÍLOHA 9

Operační návodka výrobní operace 9/9

**OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERACE 9/9)**

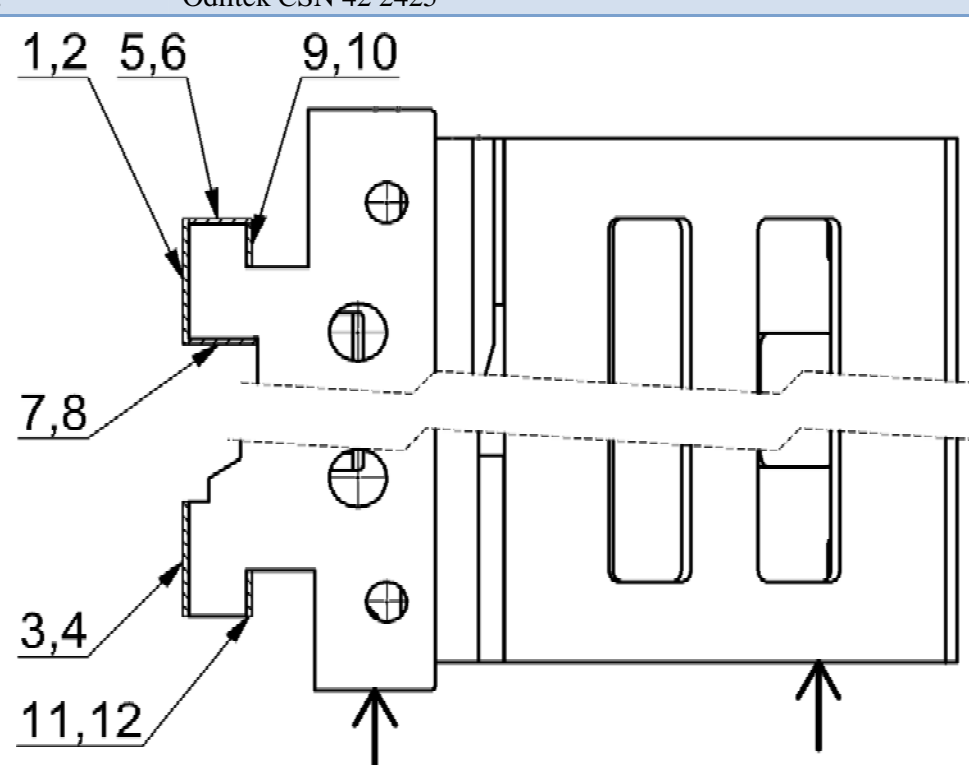
<b>Obráběcí stroj:</b>	FRUQ 400 – VR/24
<b>Název součásti:</b>	Přestavný příčník 450
<b>Polotovar:</b>	Odlitek ČSN 42 2425

Nástroj		Upínací trn			VBD					Číslo nástr.
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4200 R-S			SNEW 1203ADTR BN700					4
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4250 R-S			SNEW 1203ADTR BN700					5
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4250 R-S SPC			SNEW 1203ADTR BN700					6
Fréza čelní dokončovací CBN		FMU 4330 R-S SPC			SNEW 1203ADTR BN700					7

Č. op.	Druh operace	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$L$ [mm]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$t_{AS}$ [min]	$t_{AV}$ [mm]	Číslo nástr.
1	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	200,6	6,637	0,593	5
2	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	200	6,637	0,652	5
3	Jemné fréz.	1 200	1 910	10 104	0,05	0,2	100,6	6,613	0,641	4
4	Jemné fréz.	920	950	10 234	0,05	0,2	120,4	8,618	0,645	7
5	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	75,2	6,637	0,643	6
6	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,2	80	6,637	0,672	6
$\Sigma t_{AS}$								41,78		
$\Sigma t_{AV}$								3,846		

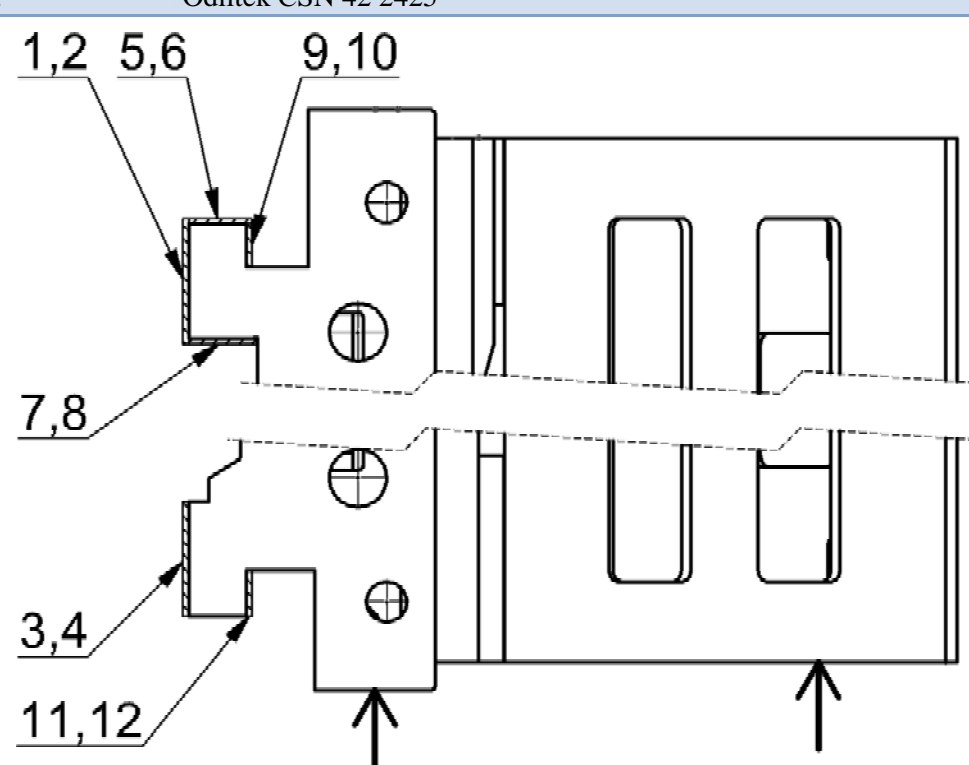
## PŘÍLOHA 10 (1/2)

Operační návodka výrobní operace 11/11

OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERACE 11/11)										
Obráběcí stroj:		FRUQ 400 – VR/24								
Název součásti:		Přestavný příčník 450								
Polotovar:		Odlitek ČSN 42 2425								
										
Nástroj			Upínací trn			VBD				Číslo nástr.
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4200 R-S			SNEW 1203ADTR BN700				4
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4250 R-S			SNEW 1203ADTR BN700				5
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4250 R-S SPC			SNEW 1203ADTR BN700				6
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4330 R-S SPC			SNEW 1203ADTR BN700				7
Č. op.	Druh operace	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$L$ [mm]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$t_{AS}$ [min]	$t_{AV}$ [mm]	Číslo nástr.
1	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,1	200,2	6,637	0,593	5
2	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,02	200,2	6,637	0,593	5
3	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,1	200,2	6,637	0,593	5
4	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,02	200,2	6,637	0,642	5
5	Jemné fréz.	1 200	1 910	10 104	0,05	0,1	100,2	6,613	0,506	4
6	Jemné fréz.	1 200	1 910	10 104	0,05	0,02	100,2	6,613	0,639	4
7	Jemné fréz.	920	950	10 234	0,05	0,1	120,1	8,618	0,513	7
8	Jemné fréz.	920	950	10 234	0,05	0,02	120,1	8,618	0,645	7
9	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,1	75	6,637	0,509	6
10	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,02	75	6,637	0,640	6
11	Jemné fréz.	1 200	1 530	10 154	0,05	0,1	80	6,637	0,509	6

## PŘÍLOHA 10 (2/2)

Operační návodka výrobní operace 11/11

OPERAČNÍ NÁVODKA (OPERACE 11/11)										
Obráběcí stroj:		FRUQ 400 – VR/24								
Název součásti:		Přestavný příčník 450								
Polotovar:		Odlitek ČSN 42 2425								
										
Nástroj			Upínací trn			VBD				Číslo nástr.
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4200 R-S			SNEW 1203ADTR BN700				4
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4250 R-S			SNEW 1203ADTR BN700				5
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4250 R-S SPC			SNEW 1203ADTR BN700				6
Fréza čelní dokončovací CBN			FMU 4330 R-S SPC			SNEW 1203ADTR BN700				7
Č. op.	Druh operace	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$L$ [mm]	$f_z$ [mm]	$a_p$ [mm]	$a_e$ [mm]	$t_{AS}$ [min]	$t_{AV}$ [mm]	Číslo nástr.
12	Jemné fréz.	1 200	1530	10 154	0,05	0,02	80	6,637	0,672	6
$\Sigma t_{AS}$								83,554		
$\Sigma t_{AV}$								7,054		

## PŘÍLOHA 11

Katalogové údaje drsnoměru TR – 100 (firma PROINEX INSTRUMENT, s.r.o.)

### DRSNOMĚR TR-100

#### Charakteristika:

**Přenosný drsnoměr pro měření Ra a Rz**

- Přenosný drsnoměr s výborným poměrem cena/kvalita
- Nejmenší a nejlevnější
- Piezoelektrický systém
- Ra a Rz parametry v jednom přístroji
- Jednoduchá kalibrace na klávesnici
- Dobíjecí baterie
- Velký měřicí rozsah
- Použitelný přímo ve výrobě



#### Standardní dodávka:

- Přístroj TR-100 s integrovaným mikrosnímačem
- Normál drsnosti Ra
- Kryt na snímač
- Dobíjecí adaptér
- Kufřík
- Návod na obsluhu
- CV Instruments certifikát

#### Další příslušenství:

- UKAS normály drsnosti
- Taška

#### Technická data

Parametry drsnosti	Ra (ISO) a Rz (DIN)
Jednotky	μm/μinch přepínatelné
Rozsah	Ra : 0,05-15,0 μm/ Rz : 0,1-50,0 μm
Cut-OFF	0,25mm/0,8mm/2,50mm
Fitr	2CR
Kalibrace	Pomocí CAL-funkce na klávesnici
Délka úseku	6 mm
Rychlost posuvu snímače	1,0 mm/sek
Přesnost	Dle ISO třídy 3
Měřicí princip	Piezoelektrický snímač
Špička snímače	Diamant, radius 5 μm ± 1 μm
Teplota okolí	0-40°C
Napájení	3,6 V/2x NiCd baterie/ na displeji stav baterií
Dobíjecí adaptér	9V DC (dobíjení také během měření)
Rozměry	125x73x26 mm
Hmotnost	200 g

## PŘÍLOHA 12

Vyhodnocené údaje rovinnosti plochy A

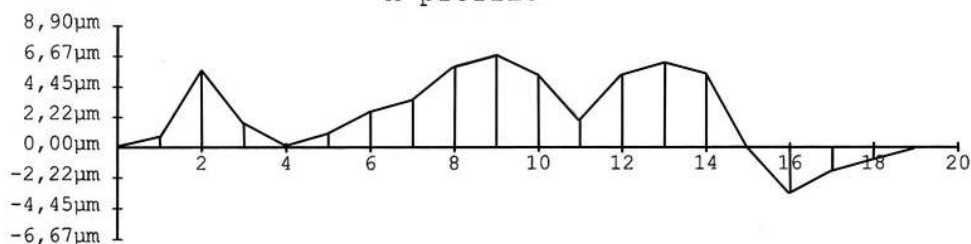
### Straightness Data Table



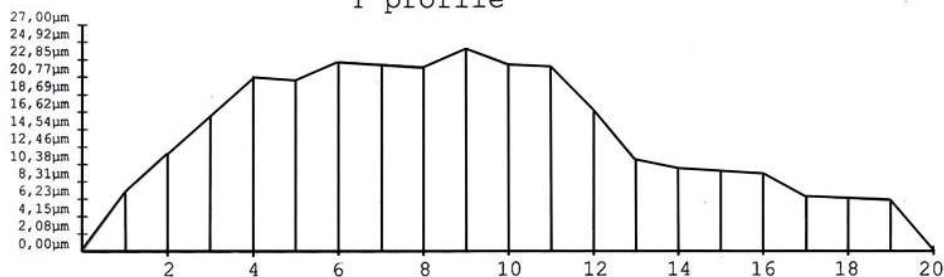
Company name : TOS KUŘIM-OS, a.s.  
 Minimum value : (X) -3,39  $\mu\text{m}$  (Y) 0,00  $\mu\text{m}$   
 Maximum value : (X) 6,83  $\mu\text{m}$  (Y) 24,12  $\mu\text{m}$   
 Peak to valley : (X) 10,22  $\mu\text{m}$  (Y) 24,12  $\mu\text{m}$   
 Slope : (X) -0,002 mm/M (Y) 0,001 mm/M  
 Instrument : DA series Autocollimator  
 Date/Time : 10.5.2012 7:39:28  
 Job name : Příčník FRUF 450 LARSEN

Station	Angle	Height	Station	Angle	Height
X( 0)	0,00	0,00	Y( 0)	0,00	0,00
X( 1)	0,00	0,85	Y( 1)	3,00	6,99
X( 2)	1,67	5,74	Y( 2)	2,00	11,55
X( 3)	-2,00	1,74	Y( 3)	2,00	16,12
X( 4)	-1,00	0,16	Y( 4)	2,00	20,69
X( 5)	0,00	1,01	Y( 5)	0,00	20,40
X( 6)	0,33	2,67	Y( 6)	1,00	22,54
X( 7)	0,00	3,51	Y( 7)	0,00	22,26
X( 8)	0,67	5,98	Y( 8)	0,00	21,98
X( 9)	0,00	6,83	Y( 9)	1,00	24,12
X( 10)	-1,00	5,25	Y( 10)	-0,67	22,22
X( 11)	-1,67	2,06	Y( 11)	0,00	21,94
X( 12)	1,00	5,33	Y( 12)	-2,00	16,81
X( 13)	0,00	6,18	Y( 13)	-2,33	10,87
X( 14)	-0,67	5,41	Y( 14)	-0,33	9,78
X( 15)	-2,67	-0,20	Y( 15)	0,00	9,49
X( 16)	-1,67	-3,39	Y( 16)	0,00	9,21
X( 17)	0,33	-1,74	Y( 17)	-1,00	6,50
X( 18)	0,00	-0,89	Y( 18)	0,00	6,22
X( 19)	0,00	-0,04	Y( 19)	0,00	5,94
X( 20)	-0,33	0,00	Y( 20)	-2,33	0,00

X profile



Y profile





## PŘÍLOHA 13

Vyhodnocené údaje rovinnosti plochy B

### Straightness Data Table



Company name : TOS KUŘIM-OS, a.s.

Minimum value : (X) -48,44  $\mu\text{m}$  (Y) 0,00  $\mu\text{m}$

Maximum value : (X) 3,68  $\mu\text{m}$  (Y) 178,82  $\mu\text{m}$

Peak to valley : (X) 52,12  $\mu\text{m}$  (Y) 178,82  $\mu\text{m}$

Slope : (X) -0,019 mm/M (Y) -0,054 mm/M

Instrument : DA series Autocollimator

Date/Time : 10.5.2012 7:50:23

Job name : Příčník FRUF 450 LARSEN

Station	Angle	Height	Station	Angle	Height
X( 0)	0,00	0,00	Y( 0)	0,00	0,00
X( 1)	-2,33	3,68	Y( 1)	5,00	39,35
X( 2)	-6,00	-1,54	Y( 2)	0,00	66,58
X( 3)	-4,00	-1,90	Y( 3)	0,00	93,81
X( 4)	-10,00	-16,81	Y( 4)	-2,00	116,19
X( 5)	-6,00	-22,02	Y( 5)	-4,00	133,73
X( 6)	-7,00	-29,65	Y( 6)	-4,33	150,45
X( 7)	-6,00	-34,87	Y( 7)	-6,00	163,14
X( 8)	-8,00	-44,93	Y( 8)	-8,00	170,98
X( 9)	-5,00	-47,71	Y( 9)	-8,00	178,82
X( 10)	-4,00	-48,08	Y( 10)	-12,00	176,96
X( 11)	-4,00	-48,44	Y( 11)	-13,00	172,67
X( 12)	-1,00	-41,53	Y( 12)	-12,00	170,82
X( 13)	-4,33	-42,70	Y( 13)	-17,00	156,84
X( 14)	-1,00	-35,80	Y( 14)	-18,67	138,82
X( 15)	0,00	-26,46	Y( 15)	-16,00	127,26
X( 16)	0,00	-17,13	Y( 16)	-21,00	103,59
X( 17)	0,00	-7,80	Y( 17)	-21,00	79,91
X( 18)	-3,00	-5,74	Y( 18)	-21,00	56,24
X( 19)	-1,33	0,36	Y( 19)	-22,67	28,52
X( 20)	-4,00	0,00	Y( 20)	-23,00	0,00

